

2018

## Indicadores de amenaza de avalancha para la quebrada Tunamas en el municipio de Aguazul Casanare según metodología del FOPAE

Julián Sebastián León Velasco  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Omar Eduardo Torres Urrego  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil)



Part of the [Civil Engineering Commons](#)

---

### Citación recomendada

León Velasco, J. S., & Torres Urrego, O. E. (2018). Indicadores de amenaza de avalancha para la quebrada Tunamas en el municipio de Aguazul Casanare según metodología del FOPAE. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil/340](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/340)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Civil by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

INDICADORES DE AMENAZA DE AVALANCHA PARA LA QUEBRADA TUNAMAS EN  
EL MUNICIPIO DE AGUAZUL CASANARE - SEGÚN METODOLOGÍA DEL FOPAE

JULIÁN SEBASTIÁN LEÓN VELASCO  
OMAR EDUARDO TORRES URREGO

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C

2018

Indicadores de amenaza de avalancha para la quebrada Tunamas en el municipio de Aguazul  
Casanare – según metodología del FOPAE

Julián Sebastián León Velasco

Omar Eduardo Torres Urrego

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director temático

Ing. Martín Ernesto Riascos Caípe

Esp. MSc.

Universidad de La Salle

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

Bogotá D.C

2018

## **Agradecimientos**

Los autores expresan su agradecimiento a:

Nuestro director de tesis, amigo y profesor en el área de suelos, ingeniero Martin Ernesto Riascos por su apoyo constante y confianza depositada para la elaboración de este proyecto. A los ingenieros Alexander Padilla y Alejandro Franco por el apoyo aportado desde el semillero GEOCAUCES en la ejecución del trabajo de campo. A los ingenieros Carlos plazas y Julio Andrés Cifuentes, el aporte que hicieron en su trabajo de grado y su colaboración en el desarrollo de este proyecto fue muy valiosa. A los laboratoristas Oscar Malagón y Luis Borja por su apoyo en lo que corresponde a los ensayos de laboratorio.



## **Dedicatoria**

*A Dios, primeramente, por permitirme cumplir este gran sueño, por mostrarme el camino, darme la vida, salud y la fuerza para no dejarme desfallecer,*

*A mi familia por el amor, la fe y el apoyo constante, por ser ese motor y esa felicidad que cada mañana me dan la inspiración para ser cada día una mejor persona y un excelente profesional.*

*A mi madre por ser incondicional, mi gran amiga y guiarme por el camino correcto.*

*Al Ingeniero Martin Riascos por el apoyo, los consejos y su amistad, a mis colegas, Ana Ariza, Omar Urrego, Carlos Plazas, Andrés Sánchez, Jorge Suarez, Andrés Cifuentes, Julián Burgos y muchos más que me quedan por nombrar pero que les tengo mucho cariño y respeto.*

*Julián Sebastián León Velasco*

## **Dedicatoria**

*A Dios, primeramente.*

*A mis padres, por la paciencia, por apoyarme en todo y por el esfuerzo tan gigante que hicieron para darme la oportunidad de seguir con mis estudios.*

*A mi hermana Johana, por creer tanto en mí.*

*A mi cuñado Francisco, por ser como un segundo papá.*

*A Arian, Martijn y Sebastiaan, porque ustedes son la motivación que necesito para superarme día a día.*

*A los “I/IV”, los vi como un ejemplo y los seguiré viendo.*

*A Diana Cárdenas, colega, compañera, amiga, novia, pilote.*

*A mis colegas, Andrés Cifuentes, Sebastián León, Jorge Suarez, Nicolás Barbetti, MariaFernanda Ariza, Paola Acero, Juliana Tamayo y Karla Zarate.*

*A mi familia, por el apoyo tan grande en muchos sentidos.*

*Omar Eduardo Torres Urrego*

## Tabla de contenido

Introducción	15
Descripción del problema	16
Delimitación del proyecto	17
Objetivos	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos	19
1 Marco de referencia	20
1.1 Antecedentes teóricos (Estado del arte)	20
1.2 Marco teórico	23
1.2.1 Erosión hídrica	23
1.2.2 Remoción en Masa	24
1.2.2.1 Concepto	24
1.2.2.2 Origen	24
1.2.2.3 Factores	25
1.2.2.3.1 Litológicos (rocas no consolidadas sobre rocas consolidadas)	25
1.2.2.3.2 Estructurales (meteorización física, química, biológica superficial del estrato rocoso superficial)	25
1.2.2.3.3 Topográficos (laderas con pendientes abruptas)	25
1.2.2.3.4 Antrópicos (denudación o deforestación del terreno)	25

1.2.2.3.5	Tectónicos (acción de las ondas sísmicas)	26
1.2.2.3.6	Climáticos (precipitaciones fuertes o precipitaciones continuas)	26
1.2.3	Velocidad del Movimiento de Masa	26
1.2.3.1	Movimientos rápidos	26
1.2.3.1.1	Caída constante de fragmentos de rocas y suelos	26
1.2.3.1.2	Hundimiento o desplome	27
1.2.3.1.3	Desprendimientos	27
1.2.3.1.4	Corrimiento	27
1.2.3.1.5	Deslizamiento	28
1.2.3.1.6	Deslizamiento de rocas	28
1.2.3.1.7	Deslizamiento de escombros	28
1.2.3.1.8	Deslizamiento de tierra	28
1.2.3.1.9	Flujo de lodo o “huayco”	28
1.2.4	Elementos para tener en cuenta debido a desastres naturales, entre esos, remoción en masa o avalanchas	29
1.2.4.1	Características de los desastres	30
1.2.4.2	Efectos de los desastres	32
1.2.5	Modelo conceptual para la determinación del índice de amenaza de avalanchas	34
1.2.5.1	Parámetros relativos a las avalanchas	34
1.2.5.1.1	Requisitos de aparición	34

1.2.5.1.2	Proceso de formación	35
1.2.5.2	Etapas	35
1.2.5.3	Mecanismos de formación de avalanchas	36
1.2.5.4	Zonas de una cuenca expuesta a avalanchas	36
1.2.5.5	Causas de las avalanchas	37
1.2.5.5.1	Causas principales de las avalanchas	37
1.2.5.5.2	Causas secundarias de las avalanchas	40
1.2.5.5.3	Factores detonantes de las avalanchas	41
1.3	Marco normativo	41
	Metodología	43
	Fase 1. Recolección de información	43
	Fase 2. Digitalización de información	43
	Fase 3. Análisis de información	44
	Fase 4. Resultados y elaboración de informe	44
3.	Resultados	15
3.1.	Campaña exploratoria	15
3.2.	Obtención de las muestras	17
3.3.	Ensayos de laboratorio	15
1.3.1	Determinación de la humedad natural del suelo	15
1.3.2	Determinación del tamaño de las partículas – Granulometría	15

1.3.3	Determinación de límite líquido, límite plástico y índice de plasticidad	15
1.3.4	Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos	15
1.3.5	Determinación de la resistencia del material al ensayo de corte directo	55
3.4.	Elaboración de las modelaciones con base a la metodología del FOPAE	56
3.4.1.	Modelo Digital de Elevación (DEM)	56
3.4.2.	Cantidad de material depositado en las laderas	57
1.4.3	Inclinación de las laderas	56
1.4.4	Cobertura con árboles o arbustos	56
1.4.5	Pendiente longitudinal del cauce	56
1.4.6	Humedad general	56
1.4.7	Lluvia máxima en 24 horas	56
1.4.7.1	Determinación de la precipitación media y en 24 horas	56
1.4.8	Sismicidad.	59
1.4.9	Geología	56
1.4.10	Índice de amenaza de avalanchas originadas por los materiales depositados superficialmente en las laderas (IAAL)	56
1.4.10.1	Cantidad de material depositado en las laderas (D)	56
1.4.10.2	Inclinación de las laderas (P)	57
1.4.10.3	Cobertura con árboles o arbustos	57
1.4.10.4	Pendiente longitudinal crítica del cauce P. Según Zimmerman et al (1997)	59

1.4.10.5	Humedad general del terreno	60
1.4.10.6	Lluvia máxima en 24 horas	60
1.4.10.7	Sismicidad	61
4.1.1.1.	Calificación de la sismicidad en la zona. Parâmetro S.	61
1.4.11	Índice de amenaza de avalanchas originadas por la falla de las laderas asociadas a fenómenos de remoción en masa (IAALC)	56
1.4.11.1	Calificación del material en laderas por sus estructuras heredadas	56
1.4.11.2	Calificación del material en laderas con suelo transportado	57
1.4.11.3	Calificación del material en laderas con semiroca	57
1.4.11.4	Calificación del relieve de las laderas. Parámetro $R(R=A+B)$	57
1.4.11.5	Calificación de la pendiente del cauce. Parámetro P.	58
1.4.11.6	Calificación de la cobertura vegetal. Parámetro V.	58
1.4.11.7	Calificación de los antecedentes de fallas. Parámetro F.	59
1.4.11.8	Calificación de la erosión en las laderas. Parámetro E.	59
1.4.11.9	Calificación de la humedad general en las laderas. Parámetro C.	59
1.4.11.10	Calificación de la lluvia máxima en 24 horas. Parámetro L.	59
1.4.11.11	Clasificación de la sismicidad en la zona. Parámetro S.	60
1.4.11.12	Puntaje Total	60
1.4.11.13	Ecuación para determinar el índice de amenaza de avalanchas originadas por la falla de las laderas asociadas a fenómenos de remoción en masa (IAALC)	60

1.4.12	Índice de amenaza de avalanchas originadas por los materiales depositados en el cauce (IAAC)	56
1.4.12.1	Cantidad de material depositado en el cauce	56
1.4.12.2	Pendiente longitudinal crítica del cauce. Según Zimmerman et al (1997)	57
1.4.12.3	Lluvia media multianual	58
1.4.12.4	Sismicidad	58
	Discusión de resultados	56
	Conclusiones	56
	Recomendaciones	56
	Bibliografía	56
	Cibergrafía	57
	Anexos	56



## Tabla de figuras

Figura 1. Ubicación y delimitación del área de la Subcuenca Tunamas. ....	17
Figura 2. Mapa Geológico y ubicación de los apiques de acuerdo con las unidades geológicas presentes en el área de la Subcuenca Tunamas.....	18
Figura 3. Nomenclatura de un deslizamiento. ....	30
Figura 4. Tabla de mecanismos de formación de avalanchas. ....	36
Figura 5. Normativas INVIAS utilizadas.....	42
Figura 6. Ubicación de los apiques realizados, según las coordenadas tomadas en el sitio. ....	15
Figura 7. Información de los apiques tomados. ....	16
Figura 8. Excavación para obtener la muestra inalterada, apique 2.....	17
Figura 9. Bordeando la muestra para su extracción, apique 2. ....	17
Figura 10. Muestra envuelta en papel vinipel antes de ser totalmente removida del sitio, apique 2. .....	15
Figura 11. Muestra envuelta en vinipel, lista para su transporte, apique 2.....	15
Figura 12. Obteniendo la muestra para el ensayo de humedad natural del suelo. ....	15
Figura 13. Lavado del material, posterior al tamizado. ....	15
Figura 14. Deposito del material lavado en los tamices, para empezar con el proceso de tamizado .....	15
Figura 15. Se premezcla la muestra con una espátula y se va humedeciendo el material. ....	15
Figura 16. La cazuela de Casagrande, después de haber aplicado los 25 golpes. ....	15
Figura 17. Material con agua en el picnómetro. ....	15
Figura 18. Manguera empleando la extracción por bombeo para la decantación.....	15
Figura 19. Muestra en la máquina de corte directo.....	55

Figura 20. Muestra remoldeada ya fallada.....	55
Figura 21. Resumen de resultados de los laboratorios.....	55
Figura 22. Modelo digital de elevación (DEM) en el área de estudio. ....	56
Figura 23. Sistema de información de movimientos en masa. ....	57
Figura 24. Calificación de profundidad total. ....	58
Figura 25. Área de sedimentos de la cuenca. ....	56
Figura 26. Leyenda inclinación de las laderas. ....	56
Figura 27. Inclinación de las laderas.....	56
Figura 28. Cobertura de árboles y arbustos. ....	56
Figura 29. Cobertura expresada en porcentajes. ....	56
Figura 30. Orden de la cuenca. ....	56
Figura 31. Cauce principal de la cuenca. ....	56
Figura 32. Dirección del flujo.....	56
Figura 33. Dirección del flujo de la cuenca. ....	56
Figura 34. Dirección del flujo de la cuenca con drenaje sencillo. ....	56
Figura 35. Cálculo de flujos acumulados mediante el programa ArcGis .....	56
Figura 36. Dirección del flujo acumulado de la cuenca.....	56
Figura 37. Clasificación de la susceptibilidad de la cuenca.....	56
Figura 38. Áreas de la cuenca. ....	56
Figura 39. Áreas de la cuenca con drenaje sencillo. ....	56
Figura 40. Captura de la herramienta Reclassify, donde se ilustra la curva hipsométrica. ....	56
Figura 41. Perfil longitudinal del cauce principal, extraído de ArcGis. ....	56
Figura 42. Estaciones IDEAM alrededor del área de estudio. ....	56

Figura 43. Lluvia media multianual.....	56
Figura 44. Precipitación media anual y temperatura media anual calificada con base en su contribución a la generación de movimientos en masa. ....	56
Figura 45. Matriz de correlación entre estaciones. ....	56
Figura 46. Valores de precipitación media mensual. ....	56
Figura 47. Valores de precipitación en 24 horas de las estaciones en el área de estudio. ....	56
Figura 48. Precipitación en 24 horas.....	57
Figura 49. Lluvia máxima en 24 horas. ....	57
<i>Figura 50. Valores de precipitaciones en 24 horas, captura de pantalla del software ArcGis. ..</i>	<i>58</i>
Figura 51. Intensidad sísmica máxima observada. ....	59
Figura 52. Intensidad sísmica esperada. ....	56
Figura 53. Zonas de Amenaza Sísmica Norma Sismo Resistente (NSR10).....	56
Figura 54. Determinación del índice de Amenaza de avalancha por medio de las aceleraciones horizontales pico efectivas.....	56
Figura 55. Área de estudio sobrepuesta de la plancha geológica No 211 a escala 1:100.000 de INGEOMINAS. ....	56
Figura 56. Zonas Geológicas presentes en el Área de estudio de acuerdo a la plancha geológica No 211 a escala 1:100.000 de INGEOMINAS.....	56
Figura 57. Tipos y subtipos de procesos y sus características más importantes.....	57
Figura 58. Clasificación de los deslizamientos.....	57
Figura 59. Pronóstico de comportamiento de macizos rocosos en Colombia, considerando la influencia relativa del material (litología) y de las discontinuidades estructurales. ....	59
Figura 60. Resistencia a la compresión de algunas rocas colombianas.....	56

Figura 61. Categorías de amenaza relativa por movimientos en masa de Colombia en el área de estudio. ....	57
Figura 62. Categorías de amenaza relativa por movimientos en masa de Colombia. ....	56
Figura 63. Mapa de terrenos Geológicos de Colombia.....	56
Figura 64. Zonificación de Dominios de Amenaza Relativa (DAR).....	56
Figura 65. Material depositado en las laderas.....	56
Figura 66. Inclinação en las laderas.....	57
Figura 67. Cobertura vegetal.....	58
Figura 68. Valores de relación S/SC.....	59
Figura 69. Rango de valores de humedad. ....	60
Figura 70. Lluvia máxima en 24 horas. ....	60
Figura 71. Sismicidad, parámetro S.....	61
Figura 72. Puntaje IAAL.....	62
Figura 73. Modelo correspondiente al índice IAAL.....	56
Figura 74. Parámetros, factores y puntajes. ....	56
Figura 75. Estructuras heredadas. ....	56
Figura 76. Suelo transportado.....	57
Figura 77. Laderas con semiroca.. ....	57
Figura 78. Relieve de las laderas. ....	57
Figura 79. Pendiente cauce. ....	58
Figura 80. Cobertura vegetal.....	58
Figura 81. Antecedentes de falla.....	59
Figura 82. Erosión en las laderas. ....	59

Figura 83. Humedad general.....	59
Figura 84. Lluvia máxima en 24 horas. ....	59
Figura 85. Sismicidad en la zona.....	60
Figura 86. Tabla de puntaje total. ....	60
Figura 87. Puntaje IAALC.....	61
Figura 88. Modelo correspondiente al índice IAALC. ....	56
Figura 89. Cantidad de material depositado en el cauce.....	56
Figura 90. Valores de relación S/SC.....	57
Figura 91. Lluvia media anual. ....	58
Figura 92. Sismicidad de la zona. ....	58
Figura 93. Puntaje IAAC. ....	59
Figura 94. Modelo correspondiente al índice IAAC. ....	56
Figura 95. Variables y porcentajes de importancia para determinar el (IAAL). ....	60
Figura 96. Variables y porcentajes de importancia para determinar el (IAAC). ....	63

## **Introducción**

Aguazul, un municipio del departamento de Casanare, el cual tiene dentro de sus linderos un extenso tramo del río Unete, perteneciente a la cuenca del río Cusiana. Cuenta con varias quebradas entre las cuales encontramos la quebrada Tunamas, caracterizada por ser una subcuenca baja. La quebrada presenta un factor de riesgo de avalancha para el municipio y para sus vías de comunicación las cuales se conectan por medio de estructuras viales que en caso de emergencia se verán severamente afectadas.

Esta investigación tiene como finalidad el estudio y determinación del índice de amenaza de avalanchas [remoción en masa (desprendimiento de tierras en las laderas)] para los brazos que componen la quebrada Tunamas, ubicada al norte del municipio de Aguazul Casanare. Para lograr el objetivo de esta investigación, se emplea la metodología descrita en la guía del FOPAE, la cual describe el proceso para la determinación de los indicadores de amenaza de avalanchas. Se realizaron muestras de suelos superficiales (1 metro de profundidad) distribuidas a lo largo de los brazos de la quebrada para determinar la susceptibilidad del material en las laderas sobre los tramos.

El producto final de esta investigación son tres modelos realizados mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) a través del software ArcGis, los cuales plasmarán y proporcionarán fácilmente la información obtenida a lo largo de la investigación acerca de “los indicadores de amenaza de avalanchas, el primero por depósitos superficiales, el segundo por fallas en las laderas y el tercero por depósitos en el propio cauce, los cuales se deben aplicar por separado y de manera independiente” mencionados por el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE, 2014 p.70).

## **Descripción del problema**

Los eventos de remoción en masa son un proceso por el cual un volumen de material constituido por roca, suelo y rellenos antropogénicos o una combinación de cualquiera de estos, se desplaza por una ladera o talud hacia abajo y hacia afuera por acción de la gravedad. (IDIGER, 2017), así mismo es un proceso geológico destructivo que afecta la infraestructura y calidad de vida de los habitantes, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de millones de pesos cada año. (Brabb, 1989).

Aguazul, un municipio del departamento de Casanare, el cual tiene dentro de sus linderos un extenso tramo del río Unete, perteneciente a la cuenca del río Cusiana. Cuenta con varias quebradas entre las cuales encontramos la quebrada Tunamas, caracterizada por ser una subcuenca baja. La quebrada presenta un factor de riesgo de avalancha para el municipio y para sus vías de comunicación las cuales se conectan por medio de estructuras viales que en caso de emergencia se verán severamente afectadas.

Existen tres causas de avalanchas, a saber: 1. Depósitos superficiales de material suelto en las laderas; 2. Fallas en las laderas asociadas a fenómenos de remoción en masa y 3. Depósitos de material suelto en el propio cauce. Por lo tanto, es importante investigar sobre los indicadores de amenaza de avalanchas: el primero por depósitos superficiales, el segundo por fallas en las laderas y el tercero por depósitos en el propio cauce, los cuales se deben aplicar por separado y de manera independiente. Fondo de Prevención y Atención de Emergencias. (FOPAE, 2014)

Así se desea realizar tres modelos en ArcGis y determinar el índice de amenaza de avalanchas, ya que este estudio servirá de base para proyectos de mitigación, control y mejoras que se pretendan ejecutar a futuro, buscando así proteger las tres estructuras de comunicación existentes y las poblaciones que colindan con el área de afectación en caso de una emergencia.

## Delimitación del proyecto

El proyecto estuvo centrado en diagnosticar cuan susceptible pueden llegar a ser las laderas pertenecientes a la subcuenca quebrada Tunamas, ya que no se dispone de información pertinente al respecto para esta subcuenca. Para esto se realizaron tres modelos en donde se plasmaron los indicadores de amenaza de avalancha descritos en la metodología del FOPAE, mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG); se apoyó el estudio con 10 apiques para la complementación del estado de las laderas en los cauces que componen la quebrada. La subcuenca estudiada es perteneciente a la cuenca del río Cusiana en su parte baja, limitante con el municipio de Aguazul, Casanare. La subcuenca tiene una extensión de 89.4 km<sup>2</sup>, cuenta con una longitud de 20.4 km, una pendiente de 2% en su tramo principal y es de orden 3. Este estudio se realizó con el fin de generar un apoyo hacia los proyectos de mitigación, control y mejoras que se pretendan ejecutar a futuro, buscando así proteger las tres estructuras de comunicación terrestres existentes y las poblaciones que se encuentran dentro del área de afectación en caso de una emergencia, se hace referencia al municipio de Aguazul, Casanare, y a sus poblaciones vecinas las cuales son: los municipios de Recetor y Pajarito (último perteneciente al departamento de Boyacá), Tauramena y Maní, y Yopal (capital del departamento).

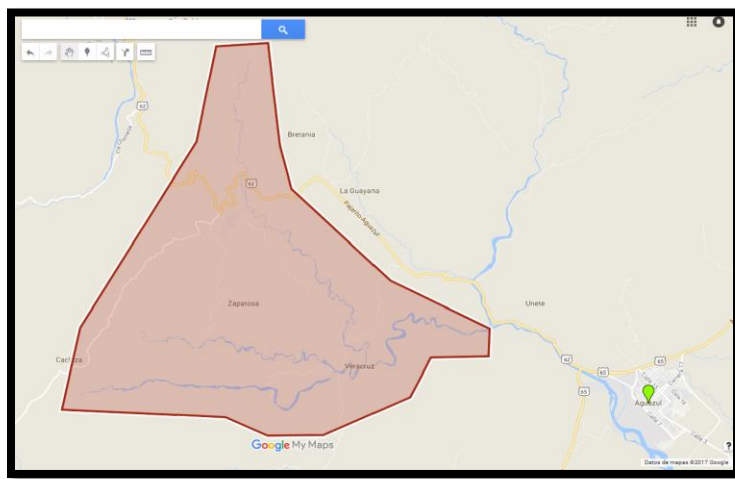


Figura 1. Ubicación y delimitación del área de la Subcuenca Tunamas. Fuente: Google Maps (2017).



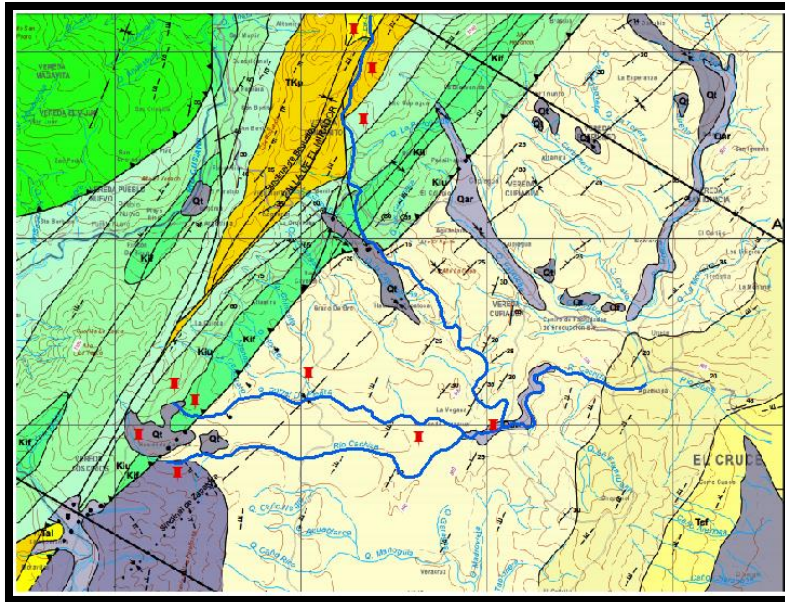


Figura 2. Mapa Geológico y ubicación de los apiques de acuerdo con las unidades geológicas presentes en el área de la Subcuenca Tunamas. Fuente: Servicio Geológico Colombiano, Plancha 211 (1983).

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Determinar el grado de amenaza de avalancha de las laderas en la subcuenca quebrada Tunamas, ubicada en el municipio de Aguazul Casanare, mediante tres modelos SIG utilizando los indicadores de amenaza de avalancha descritos en la metodología del FOPAE.

### **Objetivos específicos**

- Analizar la influencia de los materiales depositados superficialmente en las laderas de la subcuenca quebrada Tunamas.
- Estudiar la susceptibilidad de los suelos de las laderas de la subcuenca quebrada Tunamas debido a fenómenos (geológicos y/o meteorológicos) que puedan provocar un evento de remoción en masa.
- Determinar la incidencia que tiene el depósito de materiales en las laderas para la subcuenca quebrada Tunamas por medio del índice de amenaza de avalanchas.

## **1 Marco de referencia**

### **1.1 Antecedentes teóricos (Estado del arte)**

Teniendo en cuenta el objeto del proyecto de investigación, encontramos el presente documento en el cual se expone “Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa e inundaciones zona urbana, en el municipio de Guarne, Antioquia” proporcionado por el CENTRO DE ESTUDIOS TERRITORIALES DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE ORIENTE. En dónde radica la problemática en el cambio climático, el cual ha evidenciado aumento en los últimos años sobre la cabecera del municipio y esto trayendo consigo una intensificación de fenómenos geológicos y un incremento en las probabilidades de ocurrencia de procesos de remoción en masa, erosión concentrada, inundaciones y avenidas torrenciales las cuales afectan las vertientes y las cuencas en su conjunto, mencionados factores atentan contra la vida y los bienes de los habitantes que habitan el municipio; al igual que la flora y fauna pueden verse afectadas. Basándose en parámetros tales como factores de amenaza por movimientos en masa e inundaciones y la evaluación de la vulnerabilidad del municipio, buscan solidificar el municipio, zonificar las zonas que se puedan ver más afectadas que otras, y darles prioridad de seguridad a estas; al igual que determinar las posibles zonas de expansión para evitar catástrofes futuras. (Universidad Católica de Oriente, 2014)

Se obtuvo otro documento a nivel nacional, en donde el tema de investigación es “Estudio de amenaza y vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa, municipio de La Capilla, Boyacá” realizado por José Olmos Olmos, ingeniero civil y geotecnista. El objeto de la investigación es la determinación de las amenazas y vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa para una sección del municipio de La Capilla; al igual que la determinación de posibles

agentes mitigantes y preventivos los cuales trabajan en PRO de la protección futura del municipio. Para esto, el perfil estratigráfico es fundamental, para sí poder realizar una caracterización mecánica tanto del depósito como de la roca, los cuales corresponden a Arcilla y Arcillolita, a continuación de esto se pasa a realizar los respectivos análisis de estabilidad, tanto de amenaza como de vulnerabilidad y seguido a elaborar los planes de prevención, en donde entran estrategias preventivas, mitigantes y de control, las cuales buscan aumentar la seguridad e integridad de los habitantes del municipio de La Capilla. (José Olmos, 2013)

Podemos resaltar tres estudios realizados enfocados al estudio de los indicadores de amenaza, como se expone en el documento “Evaluación de amenaza por fenómenos de remoción en masa en algunos sectores de la comuna 14 del municipio de Bucaramanga utilizando el modelo estadístico con variables locales” de BLANCO, M. y JIMÉNEZ, D. En donde se utiliza un método estadístico bivariado. “la metodología SES modificada (sistema semicuantitativo de estabilidad)”, propuesto por Ramírez (1988) y modificado por González (1999), en ella se toman como parámetros variables locales, material, relieve, drenaje, vegetación, factor antrópico, erosión, clima y sismo, a estos parámetros se asignan puntajes de calificación, de estabilidad según la influencia de cada uno en los fenómenos de remoción en masa, la calificación final de amenaza es el resultado de la suma de todos los parámetros con sus respectivos puntajes y de una calibración de los niveles de amenaza. Los resultados son comparados con la metodología y la representación tanto de las variables como de los mapas finales de amenaza, se hacen mediante un SIG utilizando como unidad de terreno una celda de 3X3 m. (Blanco y Jiménez, 2012)

Los siguientes parámetros variables son fundamentales para la elaboración de la evaluación de amenazas, otro factor que ha contribuido a este estudio se demostró en el trabajo de grado “ Aproximación a un Modelo de Susceptibilidad a Movimientos de Masa en el Eje

Cafetero Colombiano” de AGUILAR, V. y MENDOZA, D. Elaborado en la región del Eje Cafetero colombiano, sobre un área cercana a 2000 km, se desarrolló un modelo de susceptibilidad a los movimientos de masa para escala 1:100 000, a partir de los submodelos de las variables pendiente (P), humedad del terreno (H) y geología (G). El modelo final (S) se define como  $S = P \times H \times G$ . De manera independiente, a partir de un modelo digital del terreno, se realizó un inventario de huellas de movimientos de masa. Este inventario se comparó con el modelo de susceptibilidad, encontrando que éste muestra con adecuada coherencia la posibilidad de ocurrencia de movimientos de masa en la zona. (Aguilar y Mendoza, 2002)

Se debe tener presente a la precipitación como un factor que puede generar un movimiento en masa, el cual es estudiado en el trabajo realizado por CASTELLANOS, R. “Lluvias Críticas en la Evaluación de Amenazas de Eventos de Remoción en Masa”. El cual es un método de Lluvia Crítica para la determinación de los umbrales de lluvias detonante de deslizamientos, el cual se basa en el análisis de la precipitación acumulada o antecedente de días previos a la ocurrencia del evento, añadiendo el desarrollo de diversas actividades humanas hace desaparecer la vegetación y los terrenos quedan más expuestos a procesos de remoción en masa, los cuales afectan la morfología regional y el desarrollo económico y social. Colombia es un país que, por sus características geográficas, geológicas, geomorfológicas y climáticas, hacen que estos fenómenos especialmente los deslizamientos, sean de gran impacto y se presenten con mucha frecuencia. Según estudios realizados (Castellanos, 1996), las causas de eventos desastrosos como los deslizamientos son en un 96% meteorológicas (en orden de importancia lluvias o períodos invernales prolongados y lluvias intensas de corta duración). Teniendo en cuenta que la lluvia es el evento que dispara con mayor frecuencia los movimientos en masa, es importante estudiar la relación de la lluvia con la ocurrencia de los deslizamientos, mediante la

determinación de umbrales de lluvias detonante, considerando los componentes de intensidad, duración y frecuencia. Las investigaciones llevadas a cabo en diferentes países para determinar la relación lluvias - movimientos en masa generalmente asumen que existen dos tipos de efectos principales de la lluvia: el efecto acumulativo de la lluvia a mediano plazo (varios días) y el efecto inmediato de la lluvia de corto plazo que se presenta justo antes de la ocurrencia del deslizamiento. (Castellanos, 1996)

## **1.2 Marco teórico**

### **1.2.1 Erosión hídrica**

La erosión hídrica es un proceso que produce la eliminación de los materiales presentes en la superficie terrestre debido a su extracción y transporte por la acción de las aguas superficiales. Si bien esta puede tener un carácter “natural”, dependiendo de factores tales como el clima (lluvias torrenciales), relieve (pendientes elevadas), características del material superficial (grado de consolidación, permeabilidad) y cobertura vegetal protectora, estos no son los únicos factores. En efecto, las acciones que el hombre realiza para su desarrollo muchas veces actúan como “disparadores” del proceso erosivo. En este sentido se destacan el desmonte y la realización de obras civiles las que favorecen una rápida saturación del suelo por el agua de lluvia y el inicio de escorrentía superficial. Dentro de los límites de la cuenca del lago Potrero de los Funes la erosión se concentra fundamentalmente en las zonas próximas al lago, favorecida por suelos altamente erodables de los mantos loessoides y las pendientes. En particular estos sectores se encuentran muy afectados por la acción de la escorrentía superficial concentrada. Ello da lugar en principio a pequeños canales menores a 50 cm (surcos) que pueden evolucionar a cárcavas y barrancos. En las áreas de lomadas predomina la erosión “no concentrada” o erosión laminar, y en menor cantidad en surcos. Ello se debe fundamentalmente a la escasez de cobertura

vegetal protectora y a la baja permeabilidad de los materiales que las integran. Es importante además señalar la erosión fluvial producida sobre las márgenes de los cursos principales por las crecidas. Ello origina la expansión lateral de la llanura inundable y a la formación de barrancas. En base a la interpretación de imágenes aeroespaciales, información existente y estudios en el terreno, se ha realizado un mapa preliminar de amenaza a la erosión hídrica que muestra los sectores más peligrosos para la cuenca baja del lago Potrero de los Funes. (Cortez Farfán, 2010)

### **1.2.2 Remoción en Masa**

#### **1.2.2.1 Concepto**

La remoción en masa es el desplazamiento de grandes volúmenes de material superficial ladera abajo (a favor de la pendiente) por acción directa de la fuerza de la gravedad, hasta volver a encontrar un nuevo punto de reposo. Normalmente este terreno, en su parte superficial, presenta rocas fragmentadas por acción de la meteorización física, química o biológica, sola o combinada, así como también puede presentar un estrato superficial de suelo grueso o delgado con o sin vegetación. Los movimientos de masa se presentan, sobre todo, en la época lluviosa o durante una actividad sísmica. (Cortez Farfán, 2010)

#### **1.2.2.2 Origen**

El fenómeno de la remoción en masa se produce porque la fuerza actuante, en este caso la sobrecarga, que es originada normalmente por el agua, ejerce una presión hacia abajo que rompe el equilibrio existente hasta ese momento; la gravedad proporciona la energía adicional requerida para que se produzca el movimiento descendente. En lugares secos donde llueve muy poco o no llueve, la remoción en masa se origina fundamentalmente por los movimientos sísmicos desde los muy débiles hasta los muy fuertes quien los mueve de su lugar y luego la gravedad

proporciona la energía adicional para que se produzca el movimiento descendente. (Cortez Farfán, 2010)

#### 1.2.2.3 Factores

Entre los principales factores solos o combinados que influyen en la remoción en masa, que contribuyen a aumentar el efecto de la gravedad, se encuentran los siguientes:

##### *1.2.2.3.1 Litológicos (rocas no consolidadas sobre rocas consolidadas)*

Ocurre remoción en masa cuando el material superficial se encuentra suelto y puede ser removido con facilidad en una ladera por efecto de la presión de una cantidad de agua, necesariamente si bajo este material superficial existe roca consolidada e impermeable. (Cortez Farfán, 2010)

##### *1.2.2.3.2 Estructurales (meteorización física, química, biológica superficial del estrato rocoso superficial)*

Ocurre remoción en masa cuando en el relieve se presenta grietas o diaclasas muy juntas, que por efecto de la meteorización física, química o biológica provocan el desmenuzamiento o descomposición de las rocas, llegando en algunas ocasiones a producir diversos tipos de deslizamientos. (Cortez Farfán, 2010)

##### *1.2.2.3.3 Topográficos (laderas con pendientes abruptas)*

Ocurre remoción en masa cuando existen laderas de montañas, de colinas con pendiente abruptas o de terrenos muy inclinados. (Cortez Farfán, 2010)

##### *1.2.2.3.4 Antrópicos (denudación o deforestación del terreno)*

Remoción en masa cuando en áreas con pendientes fuertemente taladas (deforestadas) por el hombre, el material superficial queda expuesto a la intemperie. (Cortez Farfán, 2010)



#### *1.2.2.3.5 Tectónicos (acción de las ondas sísmicas)*

Ocurre remoción en masa cuando las ondas sísmicas provocan el desplazamiento de materiales superficiales o de unidades más importantes del relieve como puede ser un área accidentada o no. (Cortez Farfán, 2010)

#### *1.2.2.3.6 Climáticos (precipitaciones fuertes o precipitaciones continuas)*

Ocurre remoción en masa cuando caen fuertes precipitaciones o caen de manera continua, provocan deslizamientos sea por aumento de sobrecarga o por cambios extremos en las temperaturas las cuales quiebran los mantos rocosos. (Cortez Farfán, 2010)

### **1.2.3 Velocidad del Movimiento de Masa**

Los movimientos de remoción en masa son muy variados. Los geomorfólogos utilizan este criterio de velocidad para clasificarlos en movimientos rápidos y lentos. (Cortez Farfán, 2010)

#### **1.2.3.1 Movimientos rápidos**

Los que se originan en pendientes muy fuertes o empinadas donde ocurre predominantemente caída de fragmentos de roca y suelos los que se van a acumular en el pie de las laderas (piedemonte). (Cortez Farfán, 2010)

Los tipos de movimientos rápidos son:

##### *1.2.3.1.1 Caída constante de fragmentos de rocas y suelos*

Es la caída en forma constante de materiales superficiales por causa de pendiente abrupta, deforestación, descomposición de las rocas, donde además no es posible que se desarrolle una sobrecarga. El material caído se va acumulando al pie de las laderas formando una nueva

geoforma denominada piedemonte, que tiene la forma de un plano muy inclinado de superficie muy irregular. (Cortez Farfán, 2010)

#### *1.2.3.1.2 Hundimiento o desplome*

Llamado también “falla de pendiente”, es un hundimiento violento hacia abajo y hacia delante de un manto rocoso y a veces de material sin consolidar, el que se desplaza a lo largo de superficies cóncavas, generalmente ocurre en sitios donde una masa rocosa o de suelos, se apoya sobre un sustrato débil. Este hundimiento o desplome origina nuevas pendientes, casi del mismo valor que las que existían antes y preparan el escenario para un nuevo evento; es decir, desarrollan pendientes muy abruptas. En lugares donde el clima es sub-húmedo, húmedo o muy húmedo, la presencia de lluvias fuertes o lluvias continuas acelera este proceso, porque aumenta el peso efectivo de la masa rocosa o de suelos (sobrecarga) y lubrica los planos donde se produce el hundimiento o desplome. Normalmente ocurre cuando el sustrato rocoso (estrato subyacente) está constituido por arcillas y pizarras. (Cortez Farfán, 2010)

#### *1.2.3.1.3 Desprendimientos*

Son aquellos movimientos de materiales superficiales que ocurren encima de un estrato rocoso inclinado. Estos desprendimientos ocurren pendiente abajo (plano muy inclinado). Son de dos tipos: El corrimiento y el deslizamiento. (Cortez Farfán, 2010)

#### *1.2.3.1.4 Corrimiento*

Es un desplazamiento rápido de una parte pequeña del terreno que se encuentra con sobrecarga. El recorrido de este desplazamiento es un trecho corto. La cicatriz resultante en el terreno afectado es un corte curvo (escarpe) en el punto en que se inició el desprendimiento (punto de ruptura). Corrimiento, ocurre por el aumento de peso que causa el agua lo cual

constituye a la generación de sobrecarga. El desplazamiento se da en un corto trayecto. Note el escarpe curvo que tipifica el corrimiento. (Cortez Farfán, 2010)

#### *1.2.3.1.5 Deslizamiento*

Es un movimiento rápido de grandes masas de materiales. Se distingue tres tipos de deslizamientos: de rocas, de escombros y de tierra. (Cortez Farfán, 2010)

#### *1.2.3.1.6 Deslizamiento de rocas*

Es el resbalamiento de una capa rocosa a lo largo de planos de debilidad. Ocurren en forma repentina y son catastróficas. (Cortez Farfán, 2010)

#### *1.2.3.1.7 Deslizamiento de escombros*

Es un movimiento rápido de material detrítico (fragmentos de rocas), que se desplaza pendiente abajo. Estos movimientos son frecuentes en laderas con pastos y a lo largo de pendientes abruptas de los bancos de río y acantilados de la línea de costa. (Cortez Farfán, 2010)

#### *1.2.3.1.8 Deslizamiento de tierra*

Se les denomina también como “corrientes de tierra”. Es el desplazamiento de material terroso (suelo) superficial que descansan sobre estratos rocosos sólidos. El movimiento de este material, pendiente abajo, es iniciado al encontrarse con notable sobrecarga a causa de la sobresaturación con agua. Ocurre en lugares húmedos con lluvias prolongadas. Su movimiento es lento. Es frecuente en orillas de vías de comunicación, así como también en orillas de río. (Cortez Farfán, 2010)

#### *1.2.3.1.9 Flujo de lodo o “huayco”*

Es un material conformado por una mezcla de fragmentos de roca, suelo y agua, que se desprende de las laderas pendiente abajo, tal como si fuera una más fluida. Es frecuente en

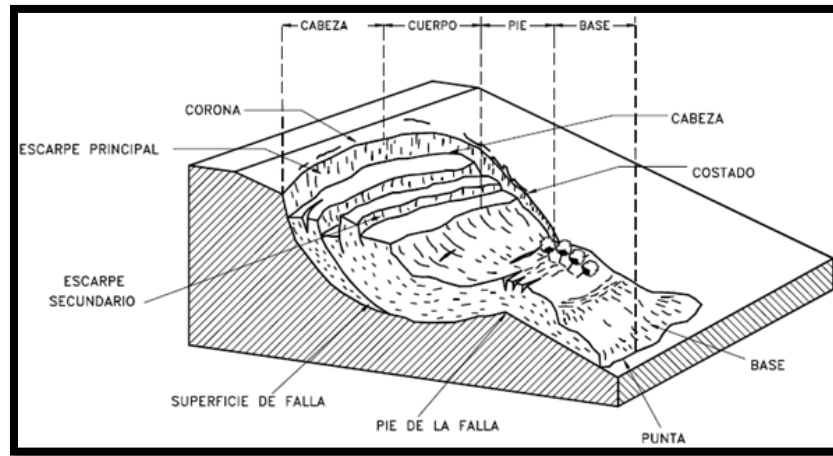
lugares de climas áridos y semiáridos donde los cursos de agua nacen en las partes altas de las montañas y desembocan en ríos colectores que conforman los valles. En el país se les conoce como “huaycos” y son muy frecuentes en la serranía durante las temporadas de lluvias. (Cortez Farfán, 2010)

#### **1.2.4 Elementos para tener en cuenta debido a desastres naturales, entre esos, remoción en masa o avalanchas**

Fenómenos naturales de origen geológico, hidrológico y atmosférico tales como terremotos, erupciones volcánicas, movimientos en masa, maremotos, inundaciones, huracanes, etc. o posibles eventos desastrosos originados por tecnologías peligrosas tales como accidentes provocados por el hombre o por fallas técnicas, representan un peligro latente que bien puede considerarse como una amenaza para el desarrollo social y económico de una región o un país. (Cardona, 1993)

El riesgo puede reducirse si se entiende como el resultado de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un evento, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, o factor interno de selectividad de la severidad de los efectos sobre dichos elementos. Medidas estructurales, como el desarrollo de obras de protección y la intervención de la vulnerabilidad de los elementos bajo riesgo, y medidas no estructurales, como la regulación de usos del suelo, la incorporación de aspectos preventivos en los presupuestos de inversión y la realización de preparativos para la atención de emergencias pueden reducir las consecuencias de un evento sobre una región o una población. (Cardona, 1993)

En la figura 3 se ilustran las partes que componen un deslizamiento.



*Figura 3. Nomenclatura de un deslizamiento. Fuente Suarez, J. (1998)*

#### 1.2.4.1 Características de los desastres

Un desastre puede definirse como un evento o suceso que ocurre, en la mayoría de los casos, en forma repentina e inesperada, causando sobre los elementos sometidos alteraciones intensas, representadas en la pérdida de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos sobre el medio ambiente. Esta situación significa la desorganización de los patrones normales de vida, la generación de adversidad, desamparo y sufrimiento en las personas, efectos sobre la estructura socioeconómica de una región o un país y/o la modificación del medio ambiente; lo anterior determina la necesidad de asistencia y de intervención inmediata. (Cardona, 1993)

Los desastres pueden ser originados por un fenómeno natural, provocados por el hombre o ser consecuencia de una falla de carácter técnico en sistemas industriales o bélicos. (Cardona, 1993)

Algunos desastres de origen natural corresponden a amenazas que no pueden ser neutralizadas debido a que difícilmente su mecanismo de origen puede ser intervenido, aunque en algunos casos puede controlarse parcialmente. Terremotos, erupciones volcánicas, tsunamis y huracanes son ejemplos de amenazas que aún no pueden ser intervenidas en la práctica, mientras que inundaciones y deslizamientos pueden llegar a controlarse o atenuarse con obras civiles de canalización y estabilización de suelos. (Cardona, 1993)

Una lista representativa de los fenómenos naturales que pueden originar desastres o calamidades es la siguiente:

- a. Terremotos
- b. Tsunamis
- c. Volcanes
- d. Huracanes
- e. Inundaciones
- f. Derrumbes
- g. Sequías
- h. Desertificación
- i. Deforestación
- j. Epidemias

Estos fenómenos son los básicos, pues en ocasiones generan otros efectos, como el caso de las avalanchas o lahares y las lluvias o flujos de material piroclástico que están directamente asociados con el fenómeno volcánico. La mayoría de estos fenómenos ocurren en forma cataclísmica, es decir, súbitamente y afectan un área no muy grande; sin embargo, hay casos

como la desertificación y las sequías, los cuales ocurren durante un largo período y sobre áreas extensas en forma casi irreversible. (Cardona, 1993)

Los desastres de origen antrópico pueden ser originados intencionalmente por el hombre o por una falla de carácter técnico, la cual puede desencadenar una serie de fallas en serie causando un desastre de gran magnitud. (Cardona, 1993)

Entre otros desastres de origen antrópico pueden mencionarse los siguientes:

- a. Guerras.
- b. Terrorismo.
- c. Explosiones.
- d. Incendios.
- e. Accidentes.
- f. Contaminación.
- g. Colapsos.
- h. Impactos.

En general existe una diversidad de posibles desastres de origen tecnológico. En la actualidad, los centros urbanos y los puertos ofrecen una alta susceptibilidad a que se presenten este tipo de eventos debido a la alta densificación de la industria, de la edificación y de los medios de transporte masivo de carga y población. (Cardona, 1993)

#### 1.2.4.2 Efectos de los desastres

Los efectos que puede causar un desastre varían dependiendo de las características propias de los elementos expuestos y de la naturaleza del evento mismo. El impacto puede causar diferentes tipos de alteraciones. En general pueden considerarse como elementos bajo riesgo la

población, el medio ambiente y la estructura física representada por la vivienda, la industria, el comercio y los servicios públicos. (Cardona, 1993)

Los efectos pueden clasificarse en pérdidas directas e indirectas. Las pérdidas directas están relacionadas con el daño físico, expresado en víctimas, en daños en la infraestructura de servicios públicos, en las edificaciones, el espacio urbano, la industria, el comercio y el deterioro del medio ambiente, es decir, la alteración física del hábitat. (Cardona, 1993)

Las pérdidas indirectas generalmente pueden subdividirse en efectos sociales tales como la interrupción del transporte, de los servicios públicos, de los medios de información y la desfavorable imagen que puede tomar una región con respecto a otras; y en efectos económicos que representan la alteración del comercio y la industria como consecuencia de la baja en la producción, la desmotivación de la inversión y la generación de gastos de rehabilitación y reconstrucción. (Cardona, 1993)

En un amplio número de países en desarrollo, como los países de América Latina, se han presentado desastres en los cuales han muerto miles de personas y se han perdido cientos de millones de dólares en veinte o treinta segundos. Eventos cuyos costos directos y obviamente indirectos pueden llegar a cifras en muchos casos incalculables, que equivalen a un inmenso porcentaje de su Producto Interno Bruto. (Cardona, 1993)

Debido a la recurrencia de diferentes tipos de desastres, en varios países del continente, se puede llegar a tener un significativo porcentaje promedio anual de pérdidas por desastres naturales con respecto a su Producto Nacional Bruto. Esta situación, como es obvio, se traduce en empobrecimiento de la población y estancamiento, puesto que implica llevar a cabo gastos no previstos que afectan la balanza de pagos y en general el desarrollo económico. (Cardona, 1993)



Las medidas de prevención contra los efectos de los desastres deben considerarse como parte fundamental de los procesos de desarrollo integral a nivel regional y urbano, con el fin de reducir el nivel de riesgo existente. Dado que eventos de estas características pueden causar grave impacto en el desarrollo de las comunidades expuestas, es necesario enfrentar la ejecución de medidas preventivas versus la recuperación posterior a los desastres, e incorporar los análisis de riesgo a los aspectos sociales y económicos de cada región o país. (Cardona, 1993)

### **1.2.5 Modelo conceptual para la determinación del índice de amenaza de avalanchas**

Este parámetro indica la posibilidad de que se presenten avalanchas en una determinada cuenca. Considera, por separado, tres elementos aportantes de material, es decir, tres causas de avalanchas, a saber:

1. Depósitos superficiales de material suelto en las laderas;
2. Fallas en las laderas asociadas a fenómenos de remoción en masa y
3. Depósitos de material suelto en el propio cauce.

Por lo tanto, se producen tres indicadores de amenaza de avalanchas: el primero por depósitos superficiales, el segundo por fallas en las laderas y el tercero por depósitos en el propio cauce, los cuales se deben aplicar por separado y de manera independiente. (FOPAE, 2014)

#### **1.2.5.1 Parámetros relativos a las avalanchas**

Los siguientes son los parámetros que se deben considerar al determinar el índice de amenaza de avalanchas:

##### ***1.2.5.1.1 Requisitos de aparición***

La aparición de una avalancha requiere el desarrollo de las siguientes tres condiciones:

- a. Cantidad suficiente de material suelto en las laderas y/o en el cauce (factor geológico)

- b. Caudal suficiente en el cauce (factor hidrometeorológico)
- c. Pendiente fuerte en las laderas y en el cauce (factor geomorfológico)

#### *1.2.5.1.2 Proceso de formación*

La formación de las avalanchas posee las siguientes fases:

- a. Preparación prolongada,
- b. Desestabilización con movimientos en masa,
- c. Depósito y acumulación.

#### *1.2.5.2 Etapas*

- I. Inicialmente se produce una saturación gradual de los materiales que potencialmente conforman la parte sólida de las avalanchas los cuales llegan a un estado de equilibrio límite;
- II. Posteriormente se genera un humedecimiento adicional que crea una sobresaturación y la pérdida de equilibrio con un movimiento de los materiales en forma de derrumbes, deslizamientos y desplomes.

La primera etapa puede ser muy larga y constituye la preparación a la formación de la avalancha. La segunda etapa es el impulso final. El papel de las lluvias es dominante y, generalmente, se trata de un aguacero intenso y de corta duración. (FOPAE, 2014)

### 1.2.5.3 Mecanismos de formación de avalanchas

Fuerzas activas	Procedencia de los sólidos que forman la avalancha y carácter del movimiento	Frecuencia relativa de formación y proporción con la lluvia	
		Lluvias	Deshielo
Dinámicas	1. Lavado de laderas	++V	++V
	2. Erosión, socavación y lavado de laderas	++V	++V
	3. Socavación profunda del cauce	++V	++V
	4. Socavación del cauce y orillas	++V	++V
	5. Rotura de represamientos en el cauce	+V	+V
Gravitacionales	6. Deslizamiento de suelo y similares por pérdida de estabilidad debida a la saturación (solifluxión)	++	++
	7. Lo mismo anterior. Solifluxión por acción del flujo en el cauce en la parte inferior de un depósito o de un terreno con suelos finos o por otras causas mecánicas	+V	+V
	8. Invasión del cauce con derrubios de material grueso por pérdida de estabilidad debida a su saturación	++	++
	9. Lo mismo anterior, debido a factores diferentes a la saturación	+	+
	10. Falla y derrumbe de orillas	+V	+V
	11. Movimiento de materiales gruesos sueltos en el cauce por saturación y pérdida de equilibrio	++	++
Dinámicas y gravitacionales	12. Deslizamiento y remoción de depósitos de morenas	-	-

Figura 4. Tabla de mecanismos de formación de avalanchas. Fuente: (FOPAE, 2014)

### 1.2.5.4 Zonas de una cuenca expuesta a avalanchas

Las cuencas expuestas a avalanchas poseen tres zonas:

- I. La primera zona es de alimentación con el componente líquido y el componente sólido, es decir, es la zona de avalanchas. En esta parte se encuentran los depósitos de ladera, relativamente sueltos y los materiales susceptibles de ser erosionados y de sufrir meteorización. También pueden estar en las riberas si la avalancha se alimenta de erosiones de orilla y materiales desprendidos. Aquí los cauces se desarrollan sobre capas de depósitos diluviales fáciles de erosionar y sobre conos de deyección antiguos y contemporáneos. (FOPAE, 2014)
- II. La segunda zona es de tránsito o transporte de la avalancha. En ella los flujos torrenciales ya formados o en formación se mueven sin aportes adicionales o con una alimentación complementaria proveniente de los depósitos en el propio cauce y en las riberas y por erosión de orillas y en la base de las laderas. Generalmente

esta zona está asociada a un cauce fijo y más profundo que la altura de la misma avalancha. En ella la pendiente longitudinal del cauce es considerable y, por lo tanto, es el tramo en donde el flujo posee mayor poder destructivo y de choque. Aquí no se presentan depósitos. Es muy frecuente que esta zona aporta una gran cantidad de material adicional. La zona de tránsito puede ser la principal fuente de material sólido si en el cauce existen grandes depósitos de material suelto y/o en el lecho los suelos son fácilmente erosionables. (FOPAE, 2014)

- III. La tercera zona es de descarga y acumulación masiva de material. En la literatura, a esta zona se le denomina cono de deyección de avalanchas. Generalmente este tramo se inicia donde se despliegan las laderas, en la salida del cauce a un sector de terrazas de un cauce de orden superior con una disminución drástica de la pendiente longitudinal que produce el extendido de los depósitos y la pérdida de su energía. Existen corrientes que no poseen zonas especiales de depósito de materiales porque la forma del río favorece la distribución de los materiales en los ensanchamientos y en las curvas del mismo cauce. Esta zona tampoco existe si el tramo de tránsito empalma directamente con una corriente de orden superior. (FOPAE, 2014)

#### 1.2.5.5 Causas de las avalanchas

Las causas de las avalanchas se dividen en principales, secundarias y factores detonantes.

##### *1.2.5.5.1 Causas principales de las avalanchas*

Tanto en las laderas conformadas por coluviones (cuaternario) como en las laderas rocosas, la causa principal de las avalanchas es la presencia de una cantidad de material suelto, proveniente de la meteorización y de la erosión o denudación. Ese es el material que es

transportado hacia el cauce principal por una lluvia fuerte o por un sismo y que conforma la avalancha. Además, en el propio cauce también pueden existir depósitos importantes de materiales sueltos. El aporte de material a partir de coluviones se debe a su bajo grado de consolidación (materiales sueltos, visibles en fotos aéreas), por lo cual pierden resistencia, representada por el ángulo de fricción interna y la cohesión (invisibles en fotografías aéreas). Si el coluvión es espeso (invisible), aumenta la susceptibilidad a la falla. Se pueden producir grandes cárcavas por erosión. La presencia de gran cantidad de materiales sueltos es una condición importante. La destrucción, deterioro o degradación de las capas superficiales del terreno y el depósito y acumulación de estos detritos hacen parte de la causa principal. El intemperismo o meteorización es otro factor preponderante. Los productos de la meteorización se depositan en las laderas y se convierten en nichos de avalanchas. Estos depósitos son, claramente, un indicador de la susceptibilidad de que se presenten avalanchas. La orientación de los estratos respecto a la inclinación de las laderas; las características de las diaclasas expresadas a través de su densidad, inclinación, separación y abertura; las propiedades de las rocas, tales como su dureza, resistencia, uniformidad mineralógica, espesor de las capas; definen las condiciones del intemperismo (intemperismo o erosión diferencial) y, por lo tanto, determinan los sitios de acumulación de escombros o detritos, dentro de la cuenca. La formación de derrubios es un indicador importante de inestabilidad porque, ellos, generalmente, se encuentran en estado de equilibrio límite. Los depósitos de morrenas son una fuente indudable de avalanchas. La presencia de materiales sueltos en las laderas, los productos de meteorización, los depósitos de erosión y las morrenas son una causa fundamental de las avalanchas, más que los deslizamientos, derrumbes o fallas aisladas. Todos estos son fenómenos exógenos. Los derrubios, los depósitos eluviales y aluviales, los materiales provenientes de socavaciones, los

depósitos en los cauces, las acumulaciones en las orillas, los deluvios, bloques sueltos, etc. Son fuentes de avalanchas. (FOPAE, 2014)

Las fuentes de alimentación sólida de las avalanchas son:

- a. Morrenas con bolos en matrices sueltas o no,
- b. Material granular suelto en derrubios formados con productos de meteorización,
- c. Depósitos eluviales y deluviales en las laderas que han perdido el equilibrio por saturación,
- d. Material granular suelto de diferente granulometría proveniente de derrumbes y deslizamientos depositados en los cauces por denudación,
- e. Coraza en el lecho de los cauces y sedimentos del lecho, socavados y transportados por el flujo;
- f. Bloques en las orillas transportados al cauce por erosión de orillas;
- g. Obstrucciones en los cauces creadas por avalanchas anteriores;
- h. Material vegetal con troncos y grandes ramas, árboles y plantas desprendidas por acción del flujo.

La condición fundamental para la aparición de una avalancha no es el valor absoluto de una determinada lluvia sino su interrelación con los productos de descomposición de las rocas, es decir, con el futuro componente sólido de los flujos torrenciales. Por eso, tiene un especial significado la humedad inicial de las fuentes de avalanchas y, en algunos casos, su ausencia y la “preparación” en seco de material granular suelto como resultado de los procesos de meteorización. El umbral de lluvia cuya superación crea la formación de una avalancha depende de la duración del período entre avalanchas (período de preparación) y de la potencial preparación desarrollada en este tiempo bajo la acción de todos los factores influyentes y

depende, también, del mecanismo de formación de la avalancha el cual es característico de cada cuenca. En algunas cuencas este umbral es constante para todas las avalanchas y en otras es individual para cada avalancha. Las avalanchas aparecen durante lluvias intensas, propias de cada estación en una determinada región. Las condiciones hidrológicas en la cuenca también ejercen una influencia sustancial en la formación de avalanchas. La composición de la red fluvial tiene un significado especial. Si esta composición favorece la concentración de grandes caudales en zonas de socavación potencial, erosión y lavado intensos, entonces los volúmenes y los valores de los parámetros dinámicos de las avalanchas se incrementan. La ubicación de los nacimientos de los cauces en zonas de fácil socavación aumenta las dimensiones de las avalanchas. La presencia de estrechamientos y ensanchamientos bruscos de los cauces, de curvas forzadas, de cañones y demás formas irregulares en el valle y en los cauces le imprimen a las avalanchas un carácter de estancamiento, represamiento y de fenómeno intempestivo. Las pendientes fuertes de los cauces angostos generan altas velocidades del flujo, especialmente con profundidades considerables. El aporte simultáneo o casi simultáneo de caudales altos por parte de diferentes afluentes aumenta considerablemente las crecientes y el volumen de las avalanchas en los cauces principales. (FOPAE, 2014)

#### *1.2.5.5.2 Causas secundarias de las avalanchas*

- a. Humedad general del terreno, debida a la lluvia media anual (medible).
- b. Presencia del nivel freático (invisible según fotografías aéreas).
- c. Flujo subsuperficial (invisible según fotografías aéreas).
- d. Saturación del suelo (invisible según fotografías aéreas).
- e. Pendiente de las laderas (visible según fotografías aéreas).
- f. Ausencia de cobertura vegetal (visible según fotografías aéreas).

- g. Erosión (valorable)
- h. Interferencia humana (visible según fotografías aéreas).

#### *1.2.5.5.3 Factores detonantes de las avalanchas*

Los factores detonantes pueden ser exógenos y endógenos.

- a. Aguaceros (exógeno según fotografías aéreas).
- b. Flujos subterráneos (exógeno según fotografías aéreas).
- c. Sismos (endógeno según fotografías aéreas).
- d. Erupciones volcánicas (endógeno según fotografías aéreas).
- e. Rotura de represamientos (exógeno según fotografías aéreas).

### **1.3 Marco normativo**

Basándose en el Manual de Normas de Materiales para Carreteras, que lleva como objeto valor la estandarización de los procedimientos y ensayos a ejecutar en proyectos que están a cargo del Instituto Nacional de Vías.

Los procedimientos y requerimientos se basan en normas internacionales elaboradas por instituciones de prestigio, en especial la ASTM, adaptadas a las necesidades específicas del INVÍAS.

Los ensayos a continuación no son obligatorios en esta investigación. Ocuparan el papel de actores complementarios para esta investigación:



<b>NORMATIVOS EMPLEADOS INVIAS</b>	
<b>CODIFICACIÓN</b>	<b>NOMBRE</b>
INV E - 103-13	Conservación y transporte de muestras de suelos.
INV E - 122-13	Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo - agregado.
INV E - 123-13	Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos.
INV E - 125-13	Determinación del límite líquido de los suelos.
INV E - 126-13	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.
INV E - 128-13	Gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro de agua.
INV E - 157-13	Determinación de la resistencia al corte método corte directo (consolidado drenado).

*Figura 5. Normativas INVIAS utilizadas. Fuente: Autores.*

## **Metodología**

El informe contendrá los respectivos análisis, procedimientos concordados a la guía del FOPAE, conclusiones y recomendaciones de la investigación.

### **Fase 1. Recolección de información**

En esta fase se obtuvo toda la información necesaria para la modelación, tal como descripciones, características y problemáticas que se hayan presentado y estén registradas, la información fue recopilada por medio de informes, artículos de revista, documentos públicos, proyectos de grado en donde se evidencie una relación con el tema estudiado, también se tuvo en cuenta información de mapas geológicos, mapas topográficos, datos de precipitaciones, mapas de pendientes los cuales fueron de apoyo para la delimitación de la subcuenca quebrada Tunamas. Como un aporte se realizaron 10(diez) apiques superficiales (a un metro de profundidad) los cuales presentaron una variación dependiendo de su posicionamiento en el área de estudio; esto con la única finalidad de obtener la caracterización del material superficial por medio de los ensayos de laboratorio realizados (Granulometría, límite líquido, límite plástico, densidad, humedad y corte directo), y así corroborar con el perfil estratigráfico de la zona encontrado en el libro Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento del Casanare, elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

### **Fase 2. Digitalización de información**

Esta parte tuvo como objeto principal la elaboración de los tres modelos planteados por medio del software ArcGis. En donde por medio de las herramientas que este mismo ofrece, se realizó un modelamiento en planta con las variables descritas anteriormente, el cual tiene como finalidad, proporcionar datos acerca de la topografía del sitio y la vulnerabilidad de las laderas a lo largo del cauce que componen la subcuenca quebrada Tunamas.

### **Fase 3. Análisis de información**

Teniendo los tres modelos de análisis digitalizados de la subcuenca quebrada Tunamas en el software ArcGis y con la recopilación de información sobre la meteorología, hidrología y geología superficial de la zona, se pasó a analizar el grado de susceptibilidad de las laderas a lo largo del cauce basado en los parámetros de la guía del FOPAE.

### **Fase 4. Resultados y elaboración de informe**

Completadas las fases mencionadas previamente, se pasó a interpretar los resultados obtenidos, plasmarlos por medio de un informe junto con los tres modelos elaborados, los cuales proporcionaron la información necesaria para determinar cuán susceptible son las laderas frente a los tres escenarios planteados en el objeto de esta investigación.

### 3. Resultados

#### 3.1. Campaña exploratoria

Se realizaron 10 apiques distribuidos en el área de la subcuenca de estudio, en donde se tuvieron en cuenta los parámetros geológicos obtenidos de la plancha geológica número 211 – Tauramena; teniendo la geología de la zona, se plantean los apiques en puntos donde sus características son diferentes, como se puede observar en la figura 5.

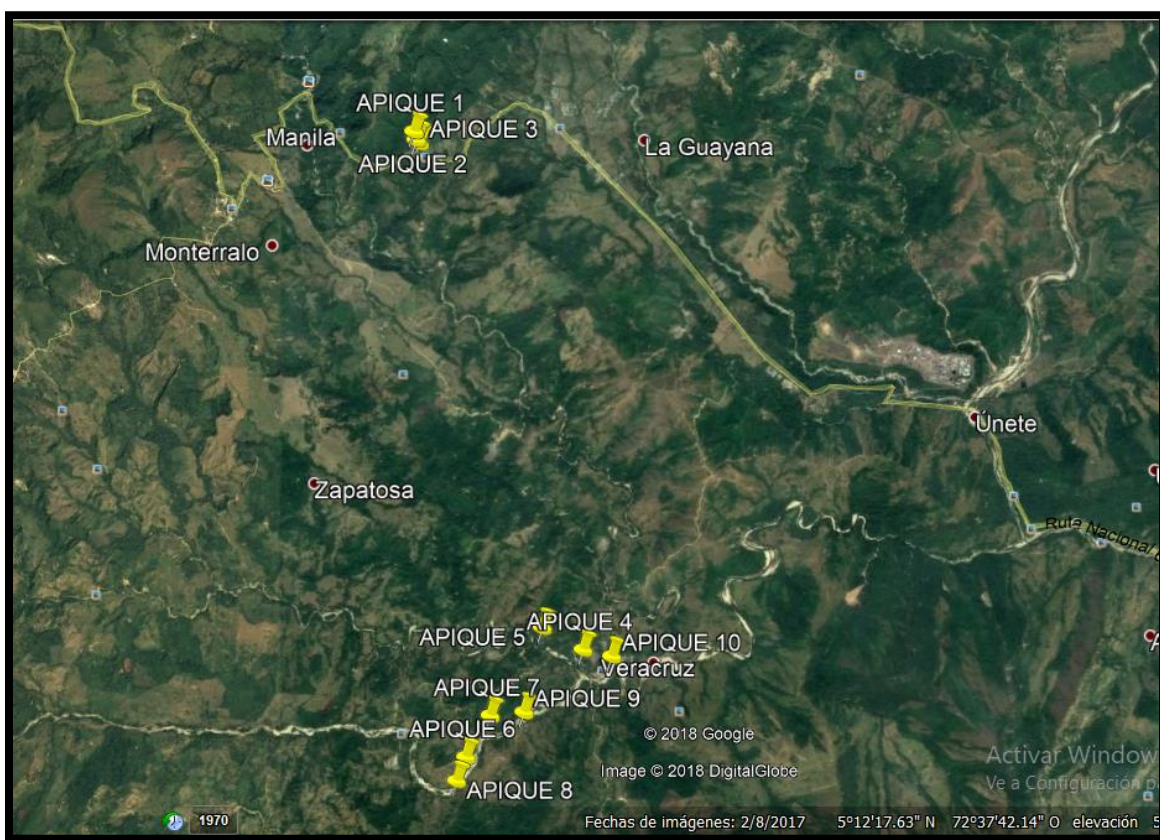


Figura 6. Ubicación de los apiques realizados, según las coordenadas tomadas en el sitio. Fuente: Google Earth.

El trabajo de campo se hizo gracias al soporte y acompañamiento del semillero GEOCAUCES de la universidad de La Salle, el cual aportó los recursos necesarios para su desarrollo; previa a la campaña exploratoria, se trazan los puntos en un mapa de la zona para definir el itinerario de ruta, una vez hecho el itinerario, se pasó a la obtención de las muestras inalteradas desde la parte más alta hacia abajo al norte del municipio de Aguazul Casanare, los primeros puntos de muestreo fueron cercanos al corregimiento de Manila Casanare y terminaron hacia el corregimiento de Veracruz Casanare, en la figura 6 se muestran las coordenadas exactas en donde se tomaron los apiques.

INFORMACIÓN DE LOS APIQUES									
APIQUE	DIRECCIÓN	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	DIRECCIÓN	GRADOS DECIMALES	GEOFORMA	VEGETACIÓN	ALTURA (m,s,n,m)
1	N	5	13	57,6	W	5,2327778	Formación arcillas del limbo	Aguas continentales naturales	700
		72	39	23		72,6563688			
2	N	5	13	54,9	W	5,2319444	Grupo palmichal	Aguas continentales naturales	703
		72	39	22,32		72,6561111			
3	N	5	13	53,76	W	5,2316666	Formación chipaque	Aguas continentales naturales	695
		72	39	21,3		72,6558333			
4	N	5	10	52,83	W	5,1813888	Formación caja	Vegetación secundaria	423
		72	38	27,25		72,6408333			
5	N	5	11	1	W	5,1836111	Formación caja	Arbustales	419
		72	38	41,81		72,645			
6	N	5	10	15,1	W	5,1694444	Formación caja	Arbustales	419
		72	39	10,09		72,6527778			
7	N	5	10	29,79	W	5,175	Cuaternario terraza	Afloramientos rocosos	410
		72	39	1,08		72,6502777			
8	N	5	10	6,73	W	5,1686111	Formación caja	Arbustales	412
		72	39	13,48		72,6536111			
9	N	5	10	30,75	W	5,1752778	Formación caja	Herbazales	439
		72	38	48,9		72,6469444			
10	N	5	10	50,21	W	5,1805556	Cuaternario aluvial reciente	Zonas desnudas (poca vegetación)	452
		72	38	16,92		72,6380556			

Figura 7. Información de los apiques tomados. Fuente: Autores

### 3.2. Obtención de las muestras

Para la extracción de las muestras se siguieron los parámetros establecidos en la norma INV E-103-13 (Conservación y transporte de muestras de suelos); el procedimiento empieza retirando la capa de cobertura vegetal y material suelto, se pasa a delimitar un área de 100 X 100 centímetros la cual es de donde se obtendrá la muestra. Se empieza a excavar a una profundidad de 100 centímetros y seguido a esto se delimita en el centro un área de 30 X 30 centímetros, la cual hace referencia a la muestra; se debe de excavar a su alrededor, descendiendo de 40 a 50 centímetros más para obtener una muestra de 30 X 30 X 30 centímetros. Se perfila la muestra en forma de cubo con ayuda de un palín, se envuelve en papel vinipel y con ayuda nuevamente del palín, se corta en su base cuidadosamente para obtener el cubo de muestra.



*Figura 8. Excavación para obtener la muestra inalterada, apique 2. Fuente: Autores.*

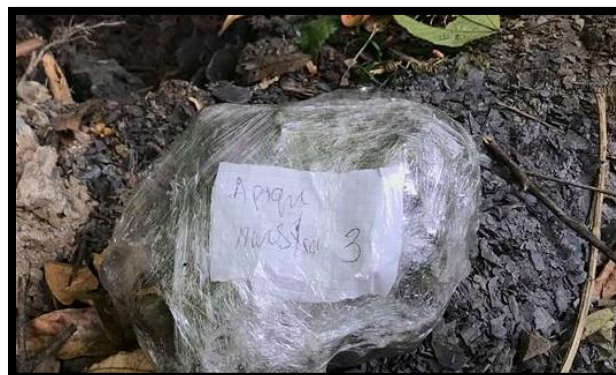


*Figura 9. Bordeando la muestra para su extracción, apique 2. Fuente: Autores*





*Figura 10. Muestra envuelta en papel vinipel antes de ser totalmente removida del sitio, apique 2. Fuente: Autores.*



*Figura 11. Muestra envuelta en vinipel, lista para su transporte, apique 2. Fuente: Autores.*

### 3.3. Ensayos de laboratorio

#### 1.3.1 Determinación de la humedad natural del suelo

Tomando como base la norma INV E – 122 -13 la cuál describe el procedimiento en laboratorio para determinar la humedad natural de suelo; se toma una muestra considerable en un platón de peso conocido y se lleva a un horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) por 24 horas. Hecho esto, se vuelve a pesar el material y se calcula su humedad como lo explica la norma mencionada.



*Figura 12. Obteniendo la muestra para el ensayo de humedad natural del suelo. Fuente: Autores.*

#### 1.3.2 Determinación del tamaño de las partículas – Granulometría

Para la determinación del tamaño de las partículas, se siguió la norma INV E – 123-13, en donde se encuentra el procedimiento detallado en cuanto a los tamices que se deben emplear para su correcta ejecución. Este ensayo se hace con el fin de poder complementar la información para la clasificación del material según la S.U.C.S.





*Figura 13. Lavado del material, posterior al tamizado.  
Fuente: Autores.*



*Figura 14. Deposito del material lavado en los tamices,  
para empezar con el proceso de tamizado. Fuente:  
Autores.*

### **1.3.3 Determinación de límite líquido, límite plástico y índice de plasticidad**

Para la determinación del límite plástico y índice de plasticidad se tuvo en cuenta la norma INV E – 126-13 y para el límite líquido la norma INV E – 125-13. Se determinó el límite líquido del suelo con la cazuela de Casagrande a los 25 golpes, para el límite plástico se empleó la forma visual, tomando el material y haciendo “rollitos”; el índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y límite plástico.



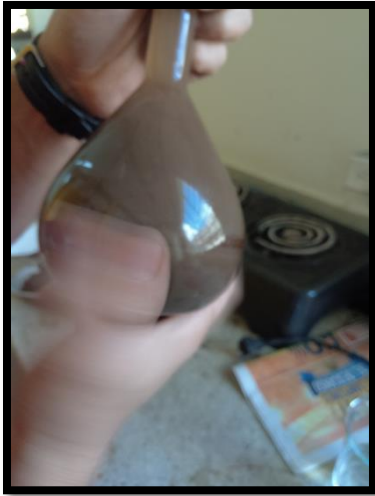
*Figura 15. Se premezcla la muestra con una espátula y se  
va humedeciendo el material. Fuente: Autores.*



*Figura 16. La cazuela de Casagrande, después de haber  
aplicado los 25 golpes. Fuente: Autores.*

### 1.3.4 Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos

Tomando como base la norma INV E – 128 – 13, se emplea un picnómetro y una bomba para realizar una extracción por bombeo vacío lo cual es permitido por la normativa, tomamos una muestra que varíe entre 65gr y 110gr. Hecho esto se aplica el procedimiento descrito en la normativa para la obtención de la gravedad específica de las partículas sólidas en la muestra.



*Figura 17. Material con agua en el picnómetro. Fuente: Autores.*



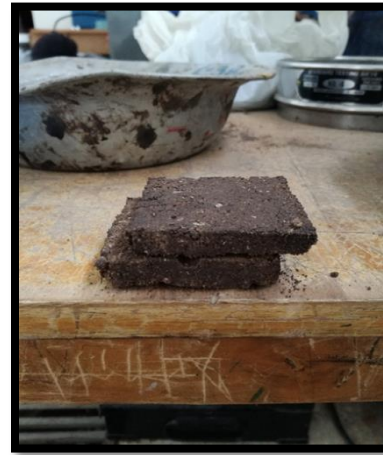
*Figura 18. Manguera empleando la extracción por bombeo para la decantación. Fuente: Autores.*

### 1.3.5 Determinación de la resistencia del material al ensayo de corte directo

Con base en la norma INV E – 157 -13, la cual hace referencia al método del corte directo en condiciones consolidadas drenadas, se determinó la resistencia al corte de las muestras las cuales fueron remoldeadas con el objetivo de obtener su ángulo de fricción de las partículas y la cohesión presente en ellas.



*Figura 19. Muestra en la máquina de corte directo. Fuente: Autores.*



*Figura 20. Muestra remoldeada ya fallada. Fuente: Autores.*

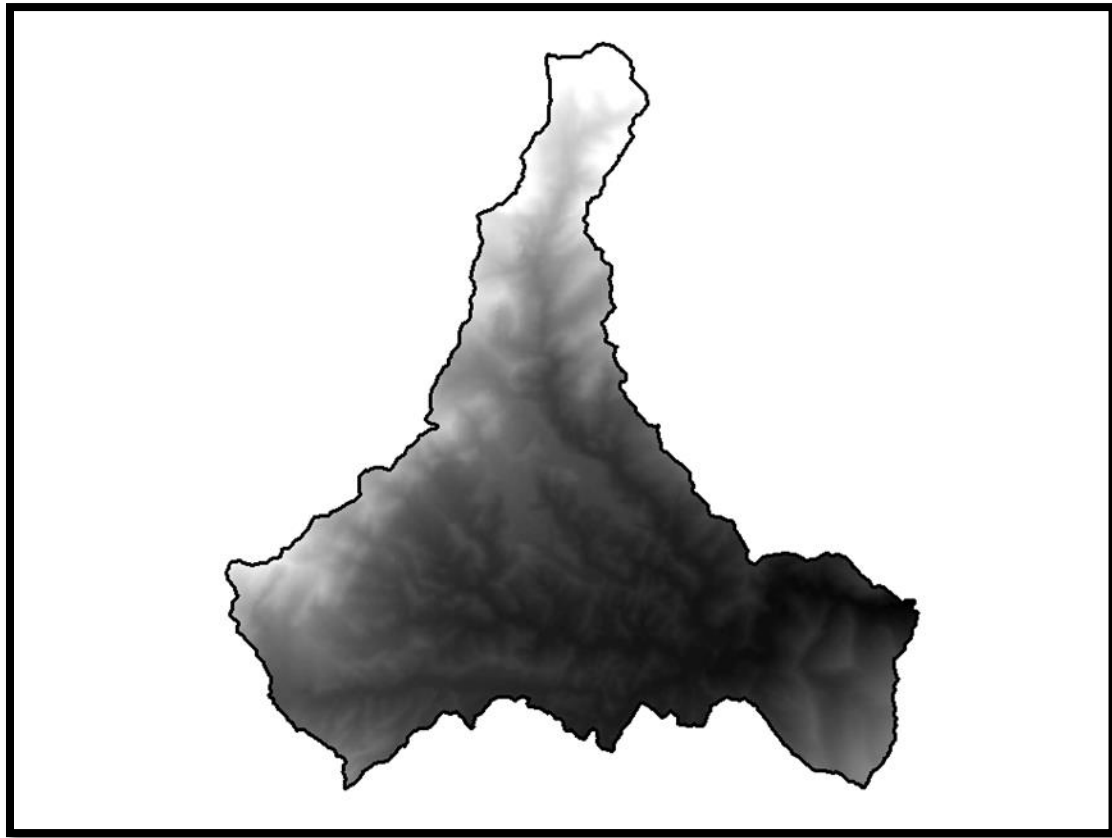
APIQUE	PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN	HUMEDAD NATURAL %	LÍMITE LÍQUIDO (LL)	LÍMITE PLÁSTICO (LP)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)	GRAVEDAD ESPECÍFICA (Gs)	S.U.C.S	CORTE DIRECTO	
									ÁNGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0.8 - 1	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	11.9	24	19	6	2.62	SM	7.25	0.1104
2	0.8 - 1	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	9.9	23	19	5	2.6	SC	22.65	0.0466
3	0.8 - 1	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	5.4	NO LÍQUIDO, NO PLÁSTICO			2.58	SC	35.34	0.038
4	0.8 - 1	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	11.9	NO LÍQUIDO, NO PLÁSTICO			2.62	SM	46.25	0.0573
5	0.8 - 1	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.	19.3	56	20	36	2.59	MH	42.22	0.0517
6	0.8 - 1	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	19.6	39	24	15	2.61	CL	13.84	0.0372
7	0.8 - 1	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.	26.9	58	29	32	2.63	MH	34.93	0.0986
8	0.8 - 1	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	8.8	NO LÍQUIDO, NO PLÁSTICO			2.62	SM	23.71	0.041
9	0.8 - 1	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	8.3	NO LÍQUIDO, NO PLÁSTICO			2.61	SM	21.08	0.0303
10	0.8 - 1	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.	12.7	48	24	24	2.57	CL	16.03	0.0619

Figura 21. Resumen de resultados de los laboratorios. Fuente: Autores.

### 3.4. Elaboración de las modelaciones con base a la metodología del FOPAE

#### 3.4.1. Modelo Digital de Elevación (DEM)

Para la determinación de las variables geométricas, se obtuvo un Modelo Digital de Elevación (DEM) de (12.5 x 12.5), siendo una imagen satelital LANDSAT el cual se calibro utilizando un Sistema de Coordenadas de proyección GCS en este caso para el área de estudio se utilizó (Magna Colombia Bogotá) y con la ayuda de los sensores remotos para obtener la información necesaria de la superficie terrestre, debido a la alta resolución espectral dada a la variedad de bandas que maneja y sus combinaciones (diferentes planos de imagen).



*Figura 22. Modelo digital de elevación (DEM) en el área de estudio. Fuente: Propia.*

### 3.4.2. Cantidad de material depositado en las laderas

Para la determinación de material depositado en las laderas, se tomaron como referencia el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), ya que tiene un registro de eventos de remoción en masa los cuales dan un estimado de profundidad de remoción en masa de acuerdo con la zona.

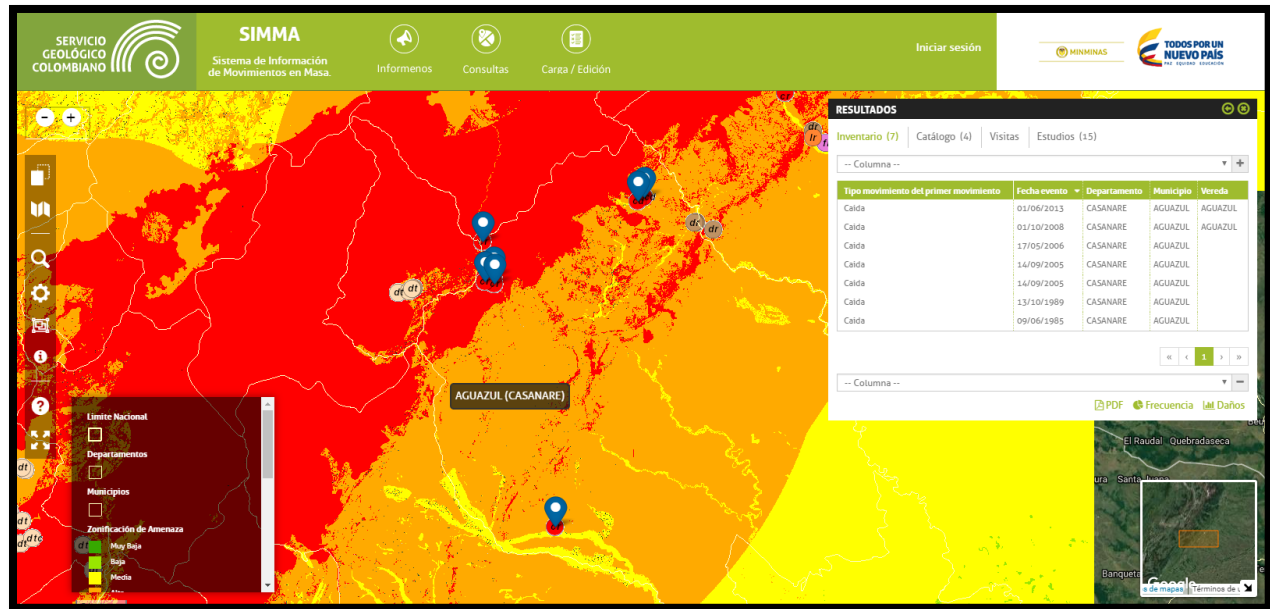


Figura 23. Sistema de información de movimientos en masa. Fuente: SGC, 2018.

A partir de estos datos se puede obtener un estimado de profundidad de remoción en masa dando valores entre los 2 y 3 metros de profundidad tomando los 3 metros como el valor más crítico, y teniendo en cuenta el área de afectación está tenida en cuenta como el área de la cuenca con la pendiente en las laderas como una variable de gran influencia, obteniendo este volumen de remoción en masa

Así mismo se tuvo como referencia el IDEAM el cual indica que la profundidad de los suelos está definida hasta donde pueden penetrar las raíces de las plantas, hasta donde puede moverse el agua, a que profundidad se encuentran las limitantes o impedimentos tanto de tipo

físico, como químico, tales como densidad, material litológico, para determinar de manera estimada y empírica, los volúmenes de suelos que se pueden llegar a remover. IDEAM, 2009

La siguiente tabla presenta la calificación de la profundidad de los suelos relacionada con la susceptibilidad de los mismos.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Categoría</b>	<b>Calificación</b>
0-25	Muy baja o muy superficial	1
25-50	Baja o Superficial	2
50-100	Media o moderadamente profunda	3
100-150	Alta o profunda	4
Mayor a 150	Muy alta o muy profunda	5

*Figura 24. Calificación de profundidad total. Fuente: IDEAM, 2009.*

Para la determinaron del área de afectación, se tuvo en cuenta cada tipo de índice, si es por fallas en la ladera o por material depositado en el cauce, para este último, se tuvo que dar un área de afectación el cual se tomó con ronda de río de 100 metros, teniendo presente las pendientes en las laderas.

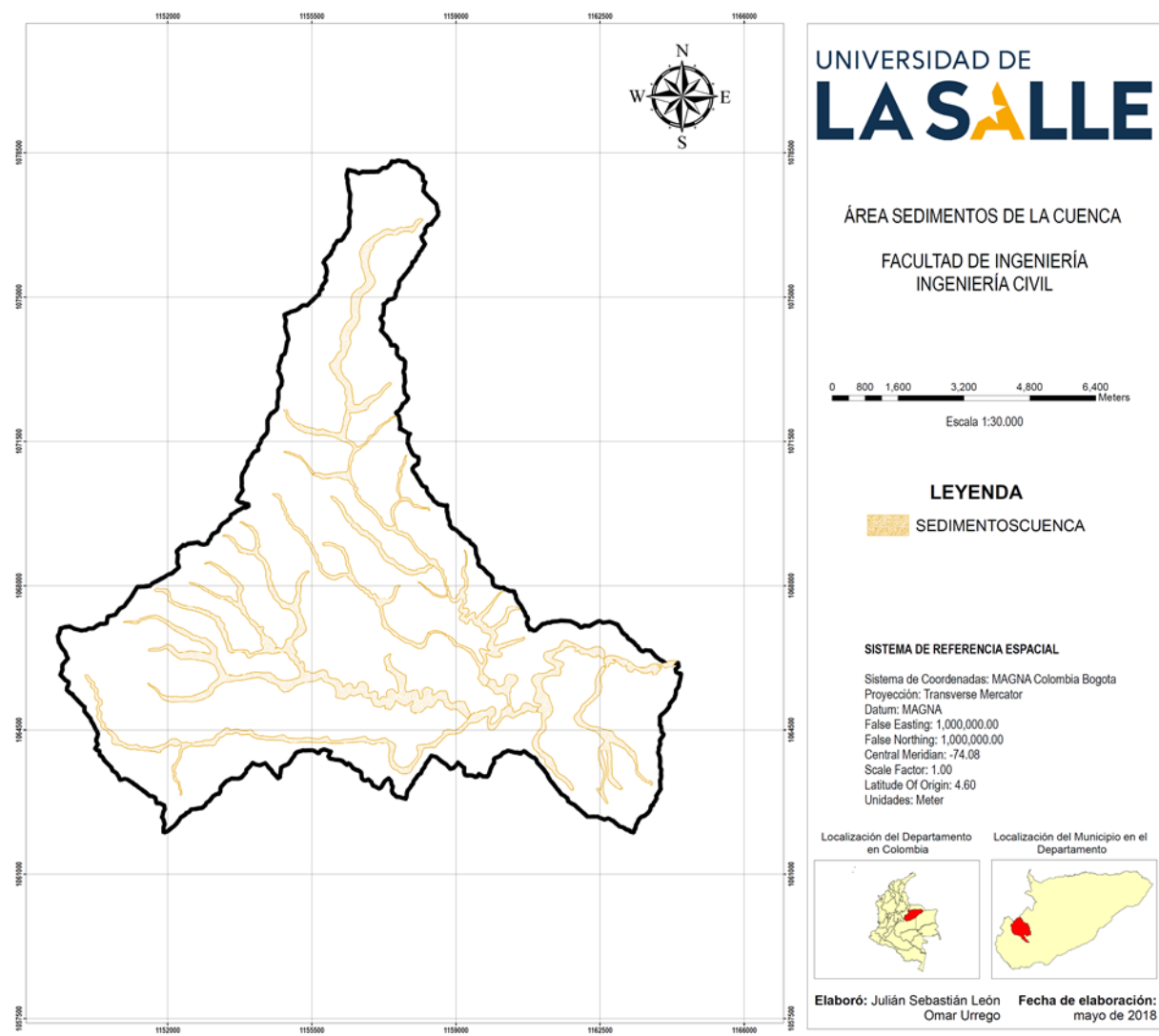


Figura 25. Área de sedimentos de la cuenca. Fuente: Propia.



### 1.4.3 Inclínación de las laderas

Esta variable es una de las más importantes debido a que se relaciona con los movimientos en masa de una manera línea de acuerdo con el Angulo que se genera entre la horizontal y la superficie del terreno, ya que a mayor pendiente, mayor es la amenaza de ocurrencia de un movimiento en masa, con la ayuda del DEM se pudo determinar el rango de inclinación de laderas de una forma porcentual en la cual se asume como el 100% un Angulo de 45°, dejando abierta la posibilidad de laderas que superen este grado de inclinación, >1.0, este se comparó con datos de altimetría obtenidos por Google Earth y también realizó una visita de campo en la cual se pudo observar el relieve de pie de monte presente en el área de estudio. A continuación, se ilustra el índice de ladera en un rango de 5 valores.

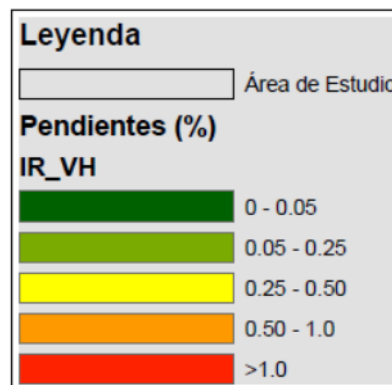


Figura 26. Leyenda inclinación de las laderas. Fuente: Propia.

Se puede observar que las pendientes más pronunciadas se encuentran en el lado Occidental del área de estudio, debido a que el área de estudio se encuentra en el piedemonte llanero, el cual tiene un cambio fuerte de relieve de montañoso a llano.

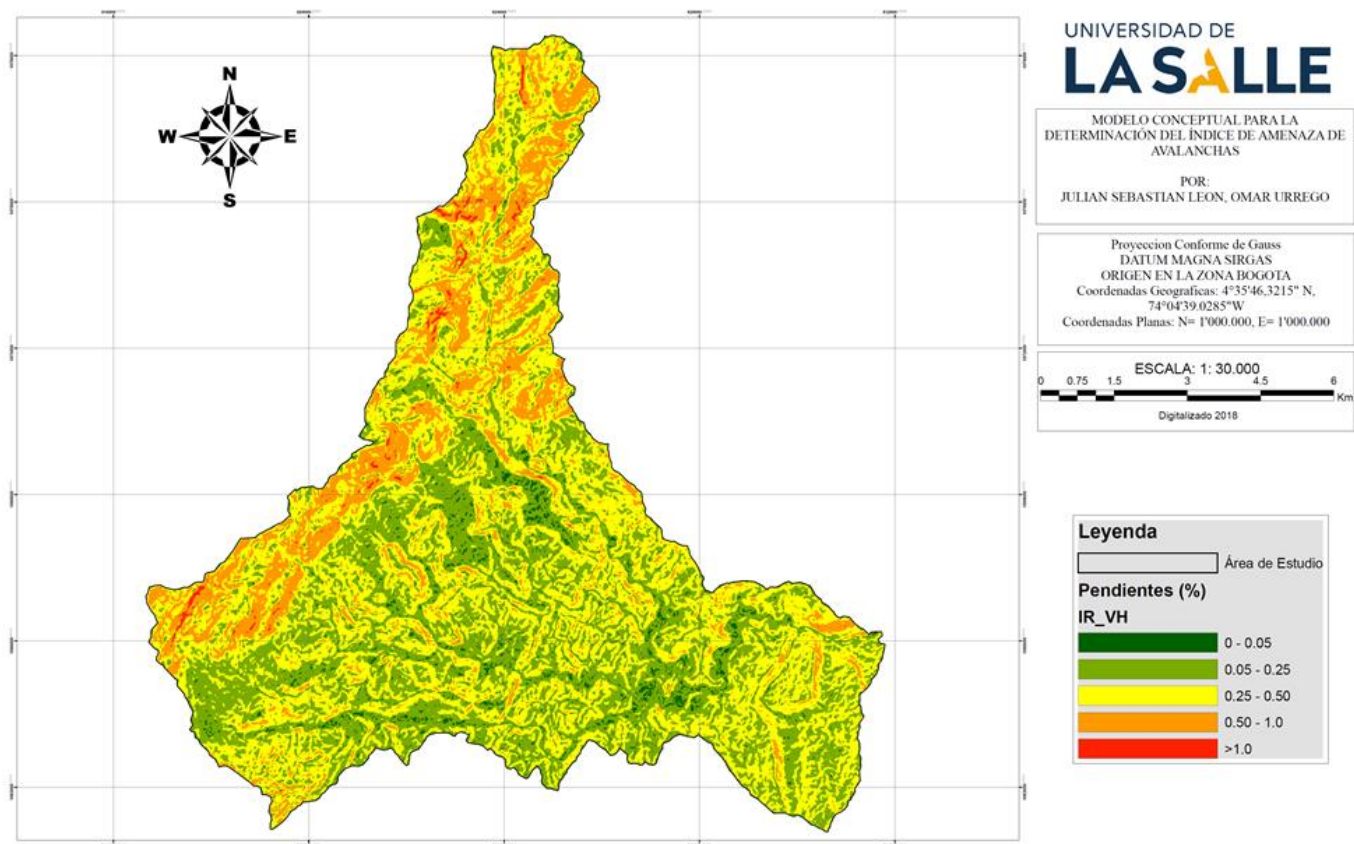


Figura 27. Inclinação de las laderas. Fuente: Propia.

#### **1.4.4 Cobertura con árboles o arbustos**

Para la determinación de la Cobertura con árboles y arbustos, se tuvieron dos formas para determinar dicha cobertura, la primera la facilita el DEM de (12.5 x 12.5), pero cabe resaltar que la cobertura vegetal es muy variable debido a los diferentes fenómenos naturales que se manifiestan y de la mano del hombre presente en el área de estudio, por eso en la visita que realizó el semillero GEOCAUSES, se realizó una campaña exploratoria en la cual se pudo realizar una tesis de grado en la cual se refiere a la cobertura vegetal presente en el área que comprende la cuenca del Cusiana siendo el área de estudio parte de dicha cuenca.

Con esto se pudo estimar la cobertura vegetal observando que en el área de estudio tan solo el porcentaje de Bosques es de 28,4%, la afectación del hombre es notable al ver que el porcentaje de pastos es del 20% y agrícola 28%, para un total del 48% casi la mitad de la Cobertura vegetal añadiendo las áreas que no tienen vegetación con un porcentaje del 14,6%, las cuales suman 62,6% de cobertura vegetal que no mitigan de una forma potencial los movimientos de los materiales depositados superficialmente en las laderas respecto al 28,4% de bosques mencionado anteriormente,

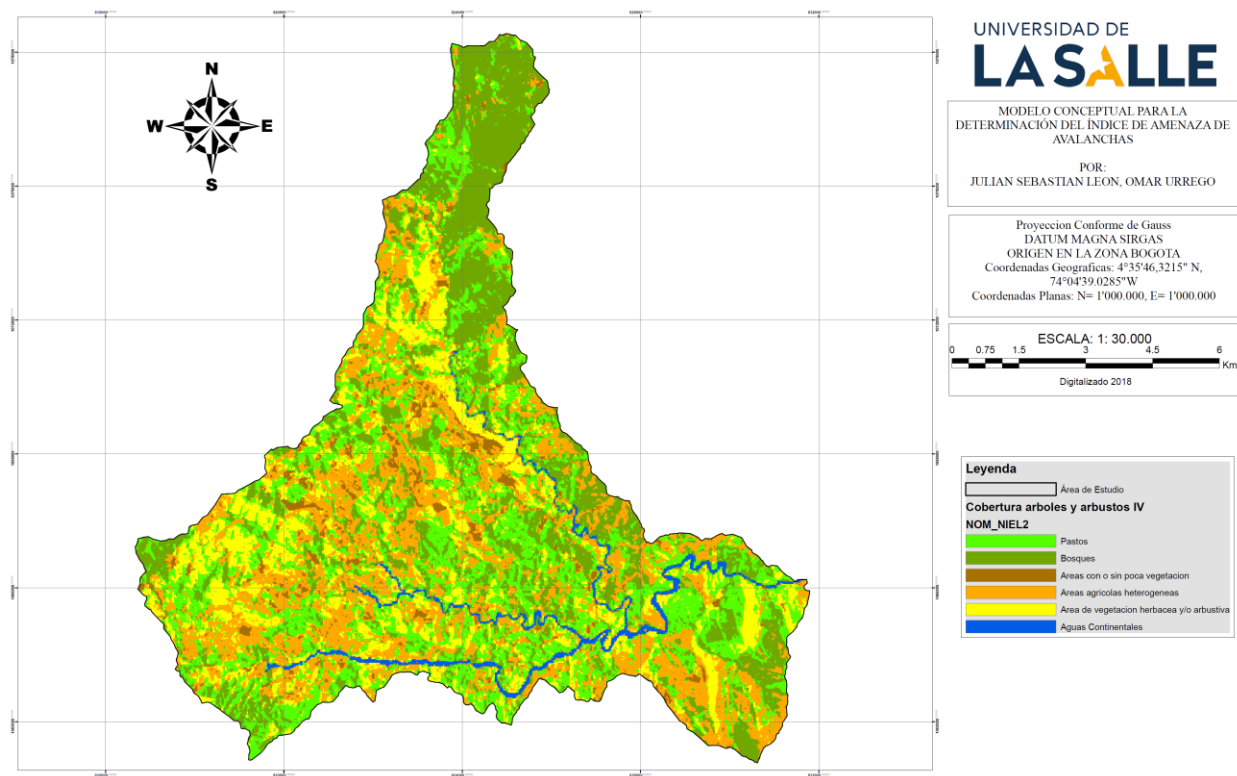


Figura 28. Cobertura de árboles y arbustos. Fuente: Propia.

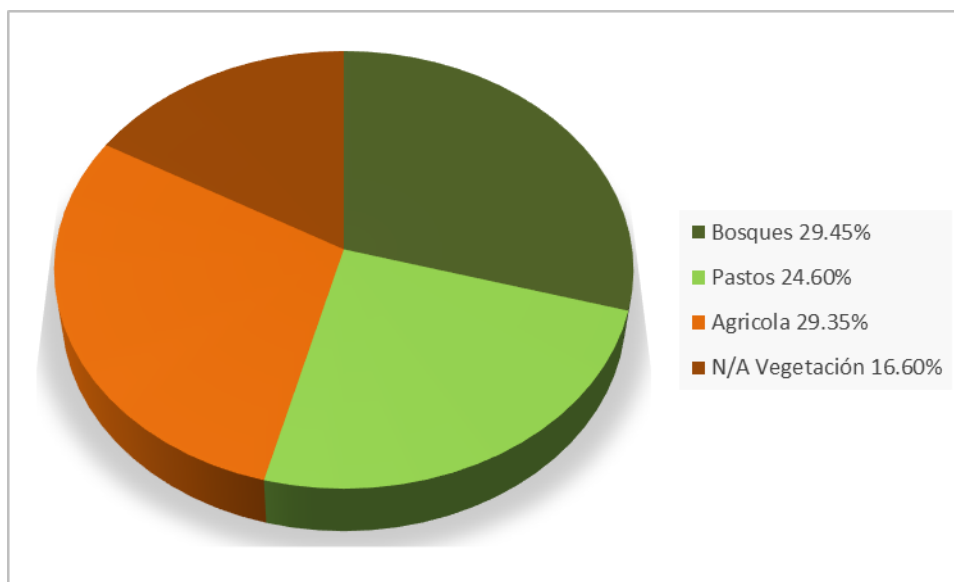


Figura 29. Cobertura expresada en porcentajes. Fuente: Propia.

#### 1.4.5 Pendiente longitudinal del cauce

Para la determinación de la Pendiente longitudinal del cauce, se tuvieron en cuenta dos métodos y sus resultados son muy similares, en el primer método se tomó el cauce principal según la metodología del FOPAE con el Área de estudio, sin embargo, en el segundo método, se hace un estudio más detallado de la cuenca a través del programa ArcGIS en el cual se genera el orden de la cuenca, a través de este se identifica el cauce principal, para poder determinar la dirección de flujo, dirección de flujo acumulado y posteriormente las áreas de la cuenca entre curvas de nivel, para la elaboración de la curva Hipsométrica la cual tiene una relación entre la altitud (msnm) respecto al área acumulada en porcentaje (%), calculando así la Altitud mediana y finalmente el perfil longitudinal de la cuenca el cual se ilustrará a continuación, estos dos métodos tienden a dar el mismo resultado debido a que el relieve y dirección del cauce llega a un mismo punto.

A continuación, se ilustra el área de estudio con el orden en la cuenca el cual muestra la forma en que están conectadas las ramificaciones de esta y se conectan entre ellas generando una

dirección de flujo el cual serán tributarios o afluentes a un cauce determinado categorizados en el grado de ramificación en el sistema de drenaje, teniendo en cuenta las siguientes características:

- Primer orden. No tienen tributarios.
- Segundo orden. Se originan en la unión de dos cauces de primer orden.
- Tercer y cuarto orden. Se originan en la unión de cauces de orden anteriormente inferiores, generando en el último orden el cauce principal.

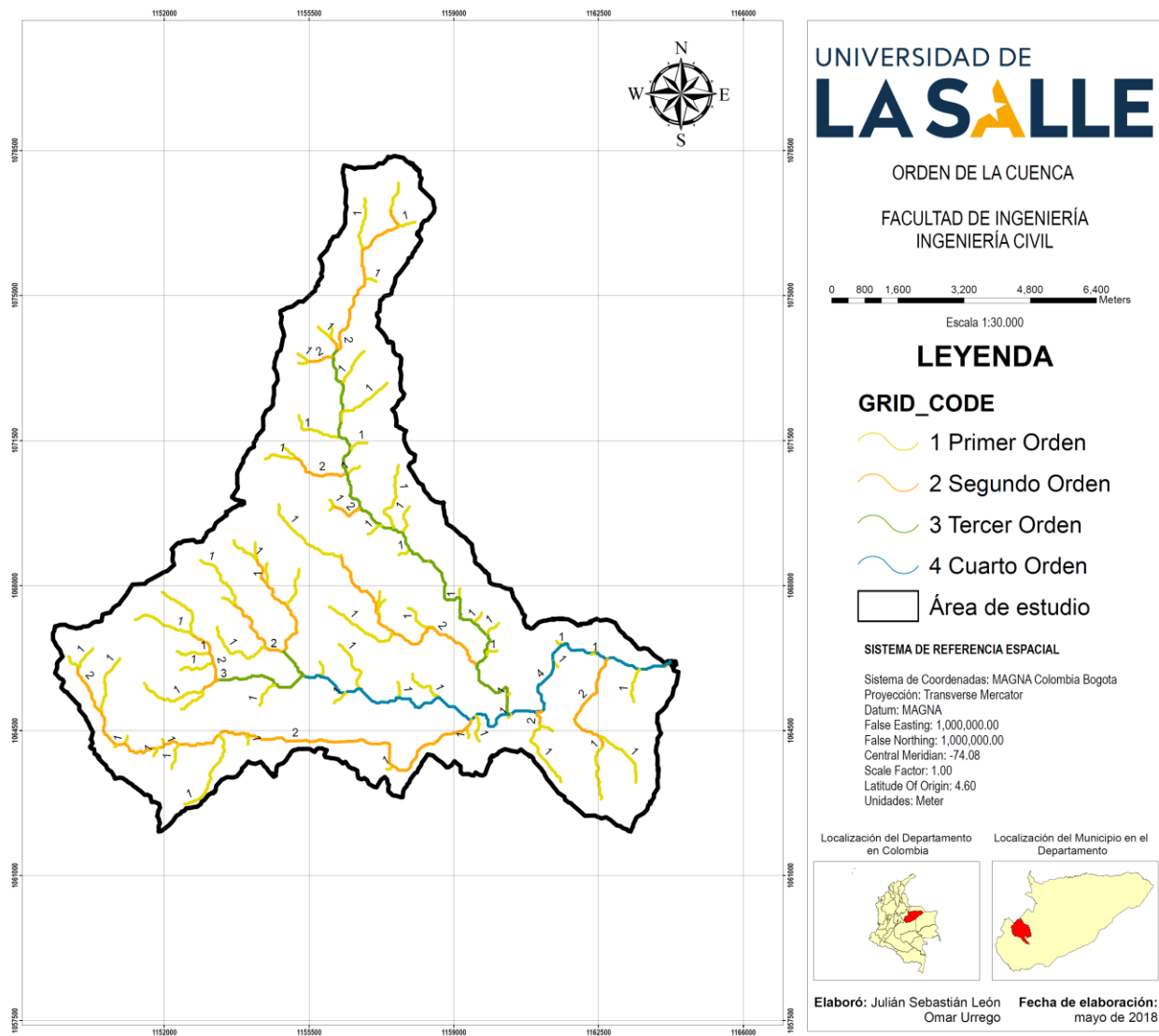


Figura 30. Orden de la cuenca. Fuente: Propia.

En la siguiente ilustración se puede identificar el Cauce principal este perteneciente al orden 4, como resultado de la sumatoria de las ramificaciones de orden menor.

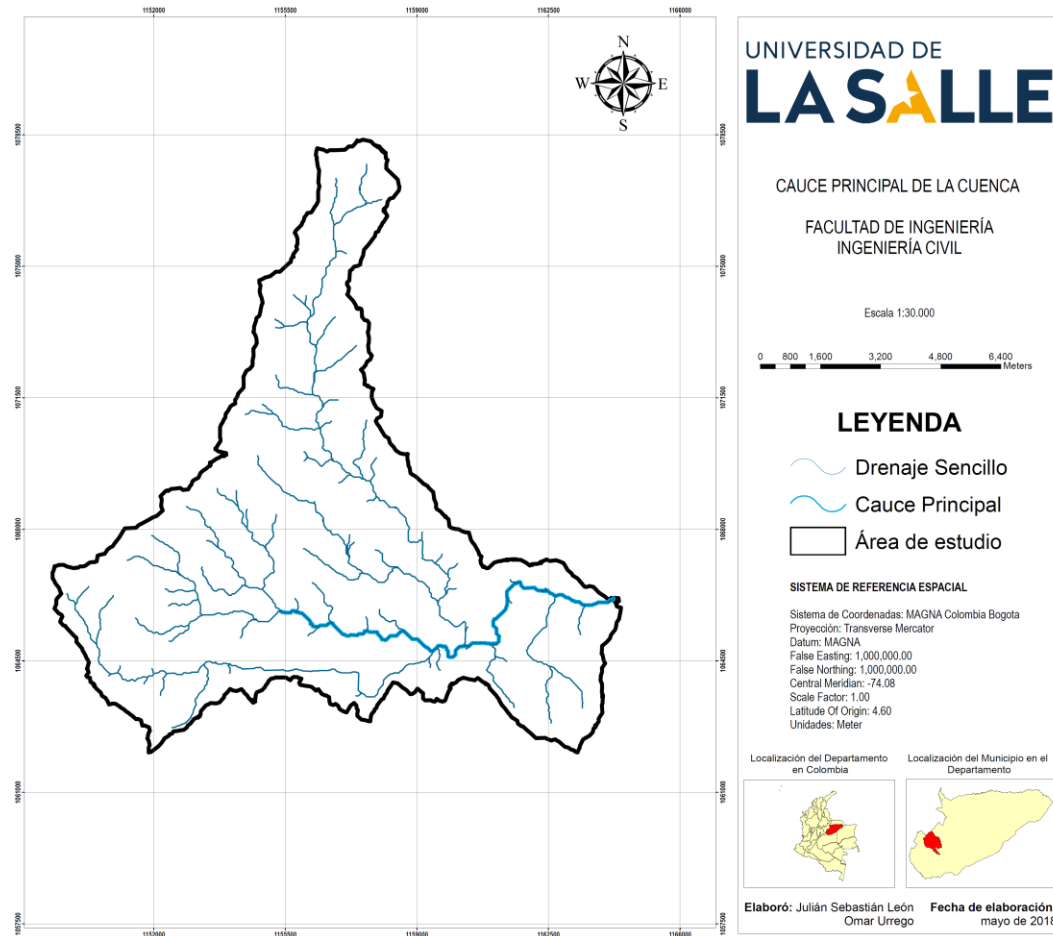
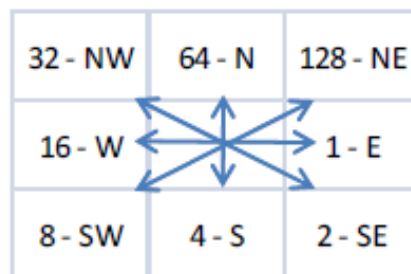


Figura 31. Cauce principal de la cuenca. Fuente: Propia.



De acuerdo con el documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 página 65, del Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2015, la dirección de flujo consiste en determinar la dirección de máxima pendiente hacia debajo de cada celda, existen ocho (8) direcciones de salida validas donde puede ir el flujo según Jenson y Dominique (1988), en el siguiente esquema se presenta gráficamente el cálculo de la dirección del flujo.



*Figura 32. Dirección del flujo. Fuente: Jenson y Dominique, 1988.*

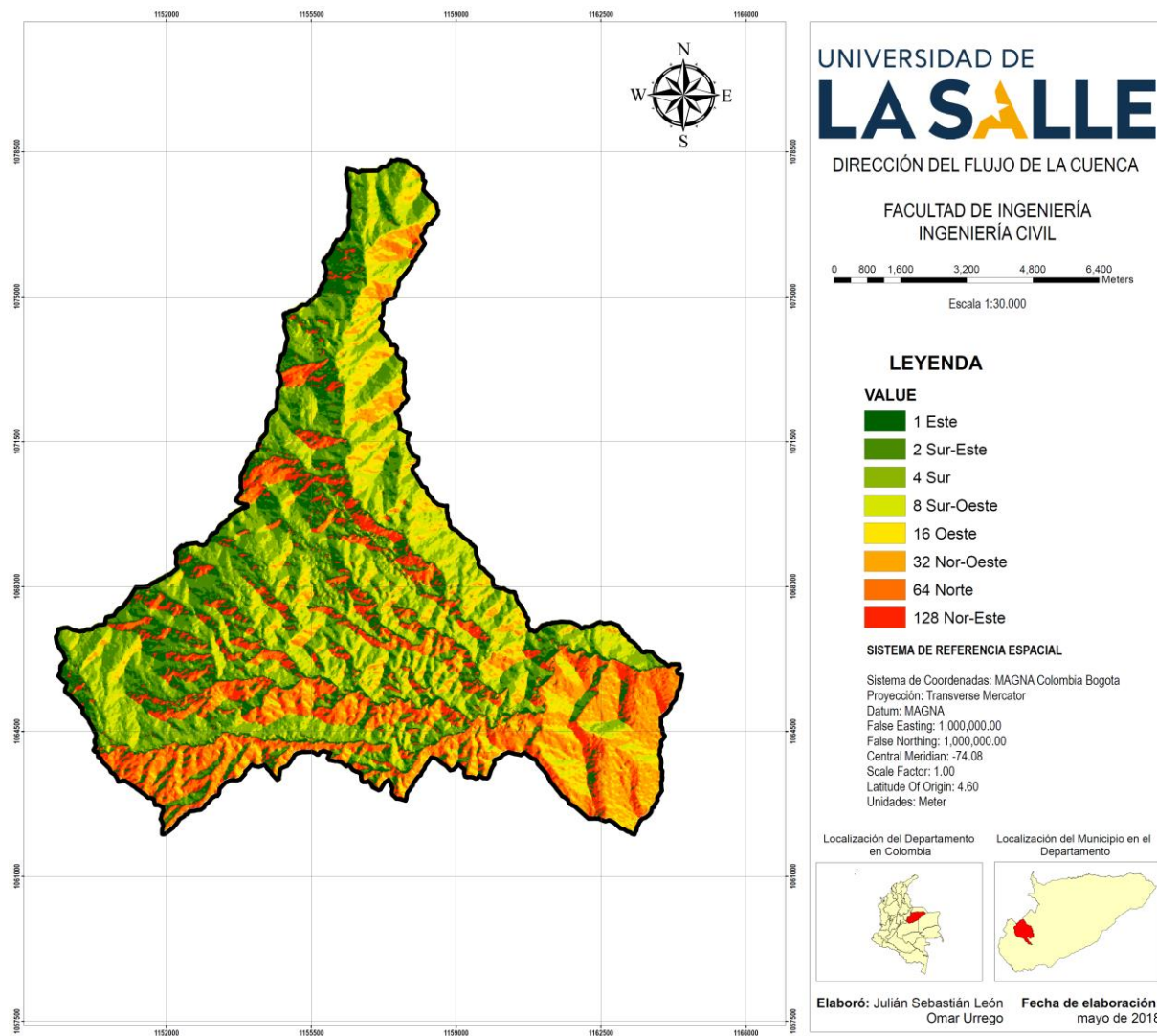


Figura 33. Dirección del flujo de la cuenca. Fuente: Propia.

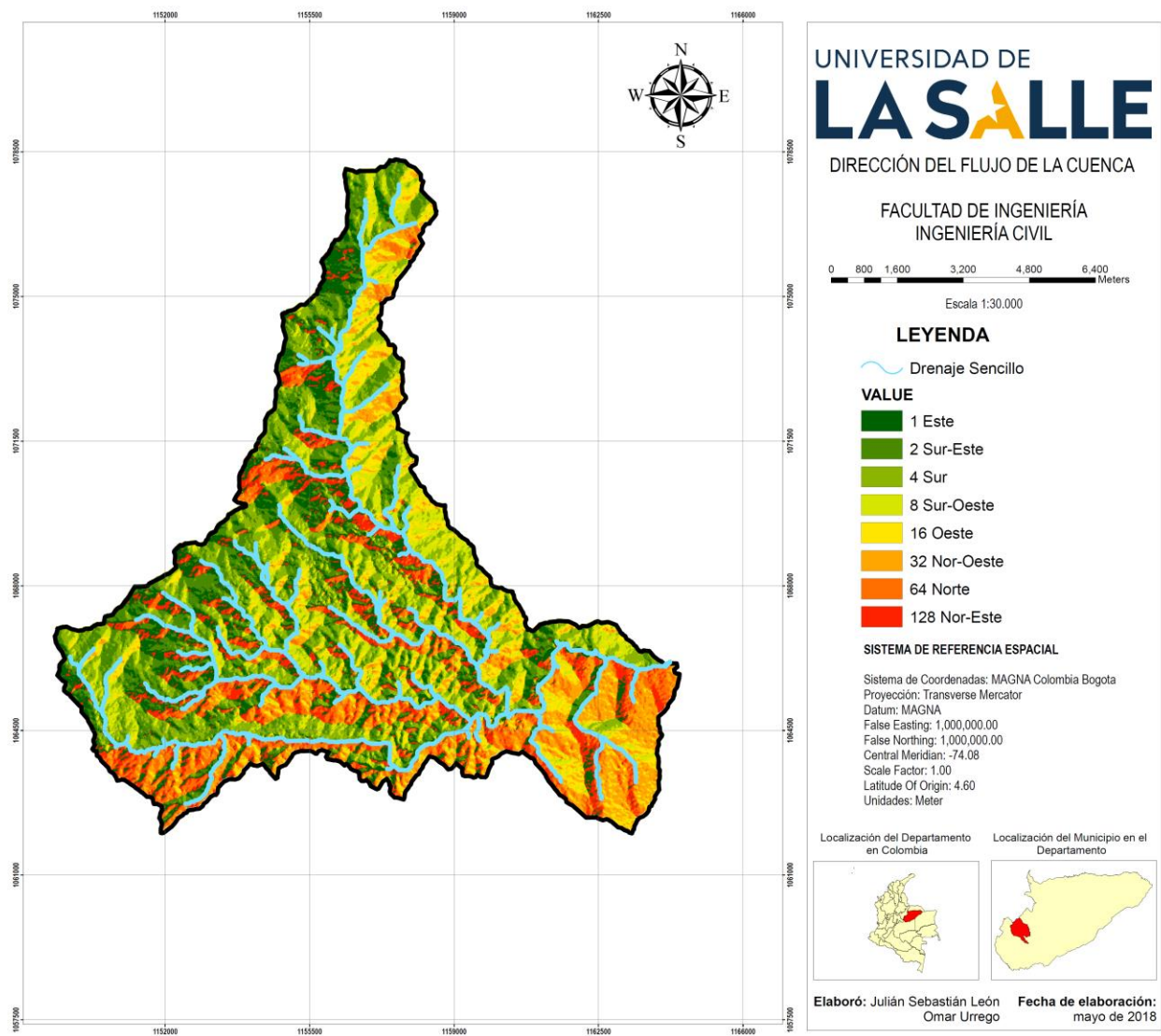


Figura 34. Dirección del flujo de la cuenca con drenaje sencillo. Fuente: Propia.

De acuerdo con el documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2015, para el cálculo del flujo acumulado en ArcGIS este constituye en el peso acumulado en una celda determinada de todas las celdas que fluyen pendiente abajo hacia ella.

De este modo es posible conocer rápidamente la cantidad de agua que puede recibir una celda determinada. Asimismo, el cálculo de flujos acumulados posibilita también determinar la cantidad de agua de lluvia que puede fluir por una celda dada, asumiendo que toda la lluvia se convierte en escurrimiento superficial y que no existe infiltración, evapo-transpiración u otras pérdidas.

Este tipo de flujo representa zonas donde hay mayor cantidad de agua fluyendo. Las zonas más oscuras representan los lugares donde hay mayor flujo de agua, lo cual coincide con los ríos y quebradas.

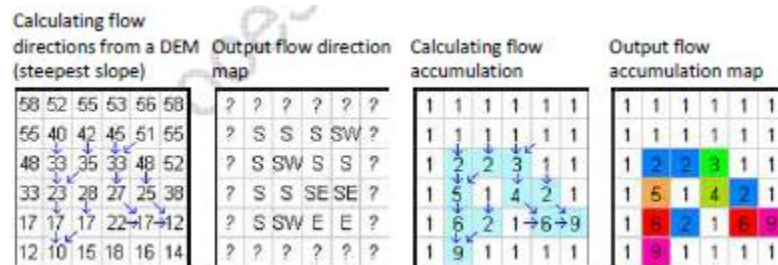


Figura 35. Cálculo de flujos acumulados mediante el programa ArcGis. Fuente]: Jenson y Dominique, 1988.

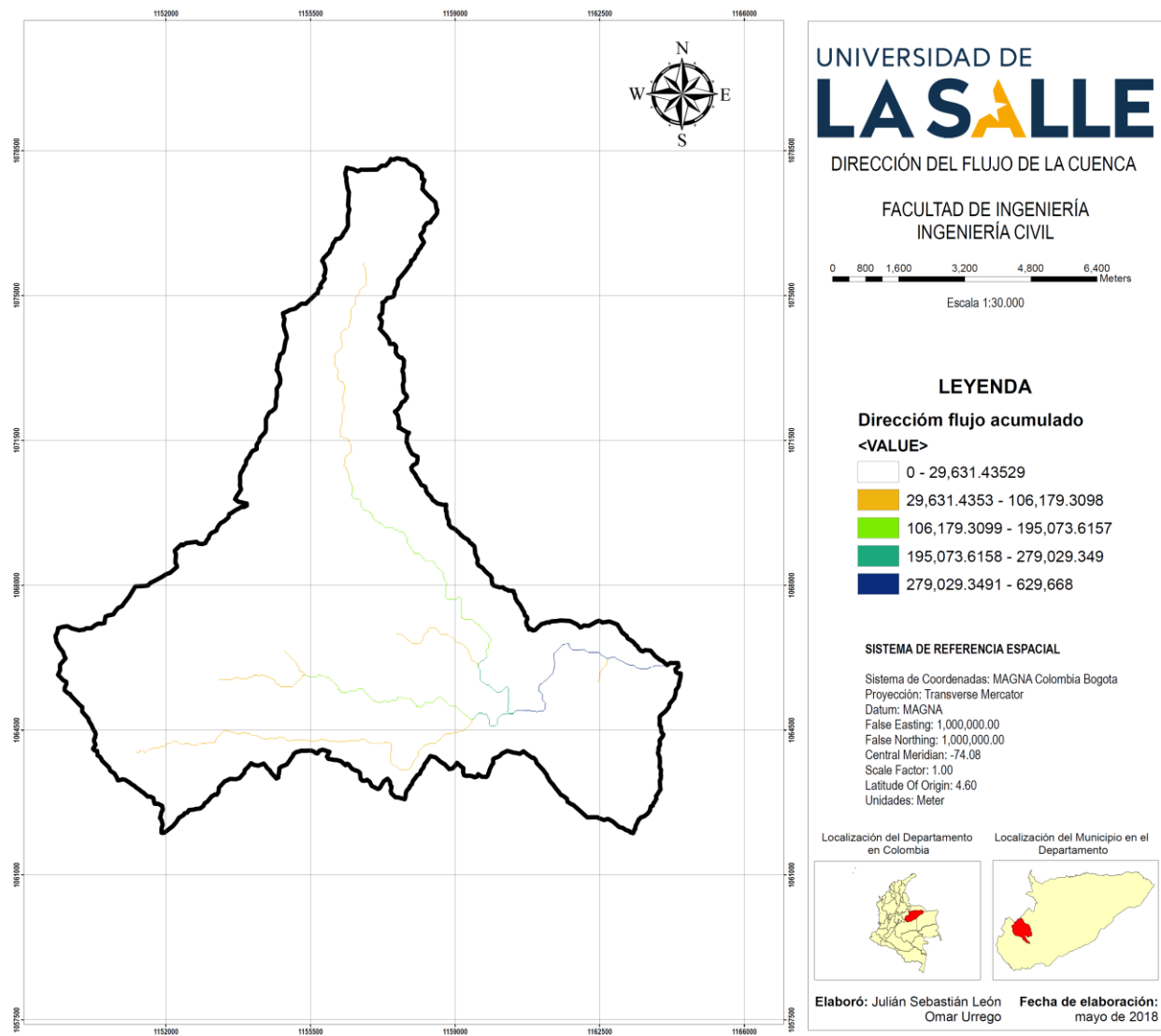







Figura 36. Dirección del flujo acumulado de la cuenca. Fuente: Propia.

Clasificación	Descripción	Susceptibilidad
 0 - 29,631.43529	Divisoria de aguas o lomos	Muy baja
 29,631.4353 - 106,179.3098	Quebradas, Ríos	Muy baja
 106,179.3099 - 195,073.6157	Escorrentía Lenta	Baja
 195,073.6158 - 279,029.349	Drenaje no Permanente	Media
 279,029.3491 - 629,668	Flujo Acumulado	Muy Alta

*Figura 37. Clasificación de la susceptibilidad de la cuenca. Fuente: propia.*

Las áreas de la cuenca se forman entre curvas de nivel la cual indica el sentido del flujo y de llenado de acuerdo con sus cotas, siendo un sistema parecido al del llenado de una presa donde se observa como el área de cotas más bajas como el área 1, hasta el área de cotas más altas como el área 8.

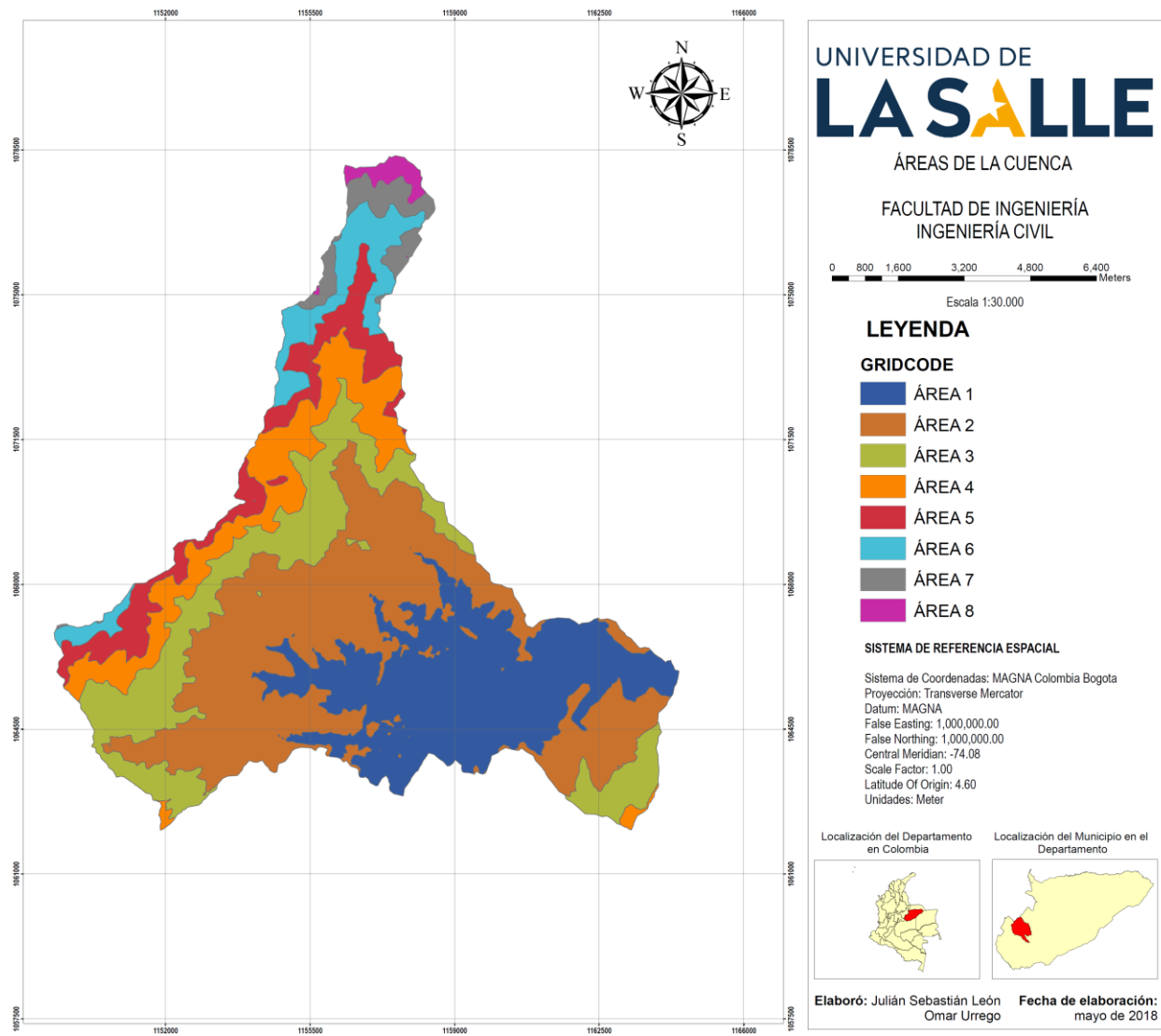


Figura 38. Áreas de la cuenca. Fuente: Propia.

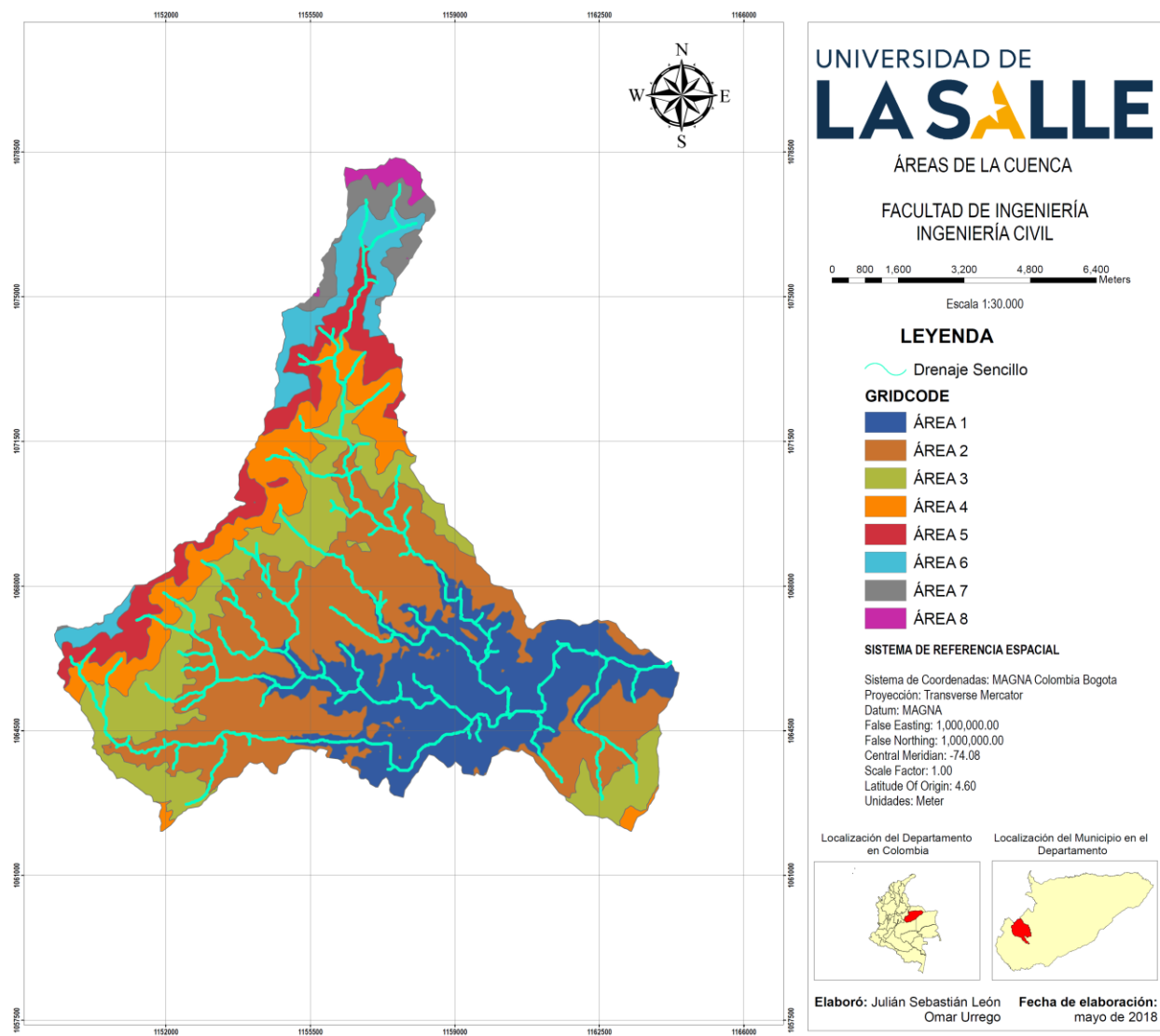


Figura 39. Áreas de la cuenca con drenaje sencillo. Fuente: Propia.



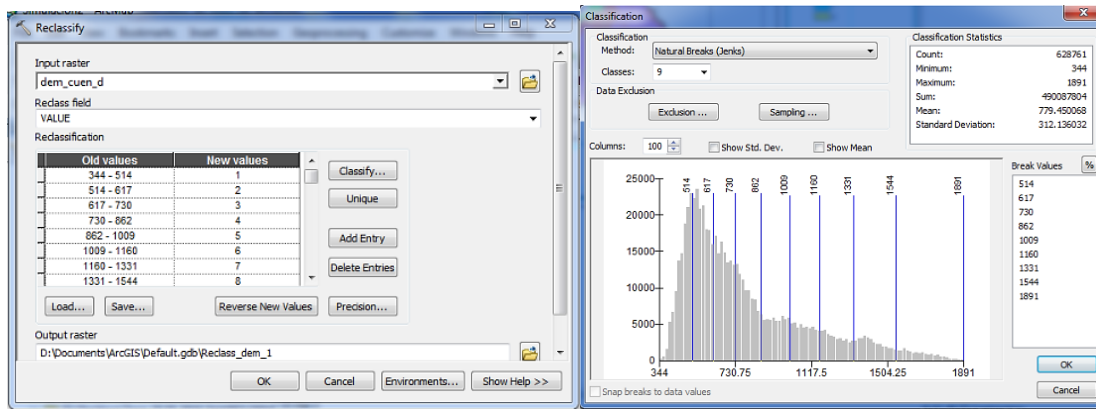


Figura 40. Captura de la herramienta Reclassify, donde se ilustra la curva hipsométrica. Fuente: Propia.

En la pendiente del cauce principal se hace la relación entre las cotas y la distancia tomando como longitud cero (0) el punto de entrega del cauce principal, se calcula la pendiente y se observa que da un valor similar al propuesto por la metodología del FOPAE.

$$S = \frac{496 - 305}{12021} * 100 = 1.6\% \rightarrow 2\%$$

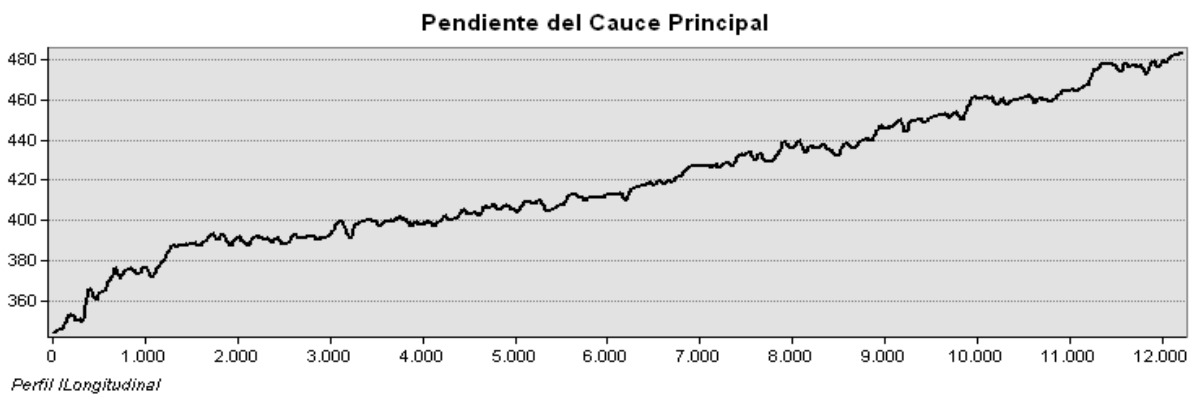


Figura 41. Perfil longitudinal del cauce principal, extraído de ArcGis. Fuente: Propia.

### 1.4.6 Humedad general

Para la determinación de la humedad, se puede caracterizar a través del valor de la lluvia media multianual. (Se deben anexar las tablas y la metodología para en la cual se muestre la ecuación y la curva, en la cual se llenan los datos faltantes), estos datos se obtuvieron mediante los registros de las estaciones toquilla, corinto, chameza, tamarindo, aguazul, apto yopal, san jose, pradera la, pajarito, del IDEAM las cuales se muestran en la siguiente ilustración, estos datos fueron comparados con el mapa de precipitación media anual y temperatura media anual calificada con base en su contribución a la generación de movimientos en masa, del documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano, 2015.

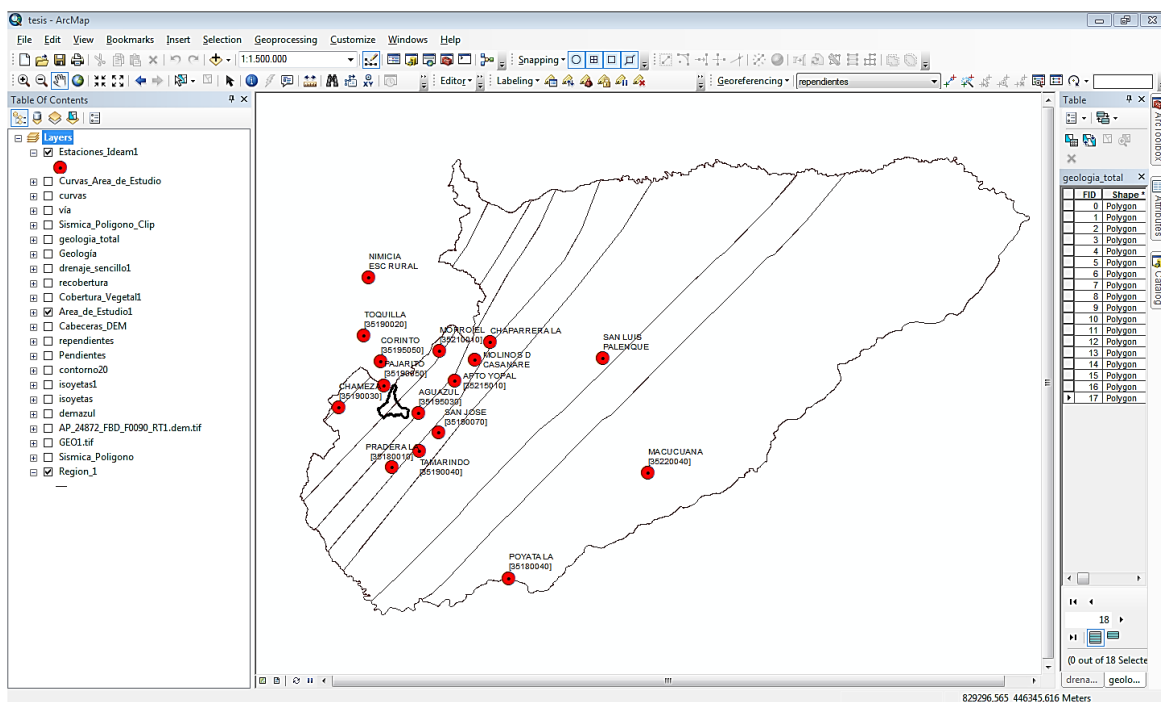


Figura 42. Estaciones IDEAM alrededor del área de estudio. Fuente: Propia.

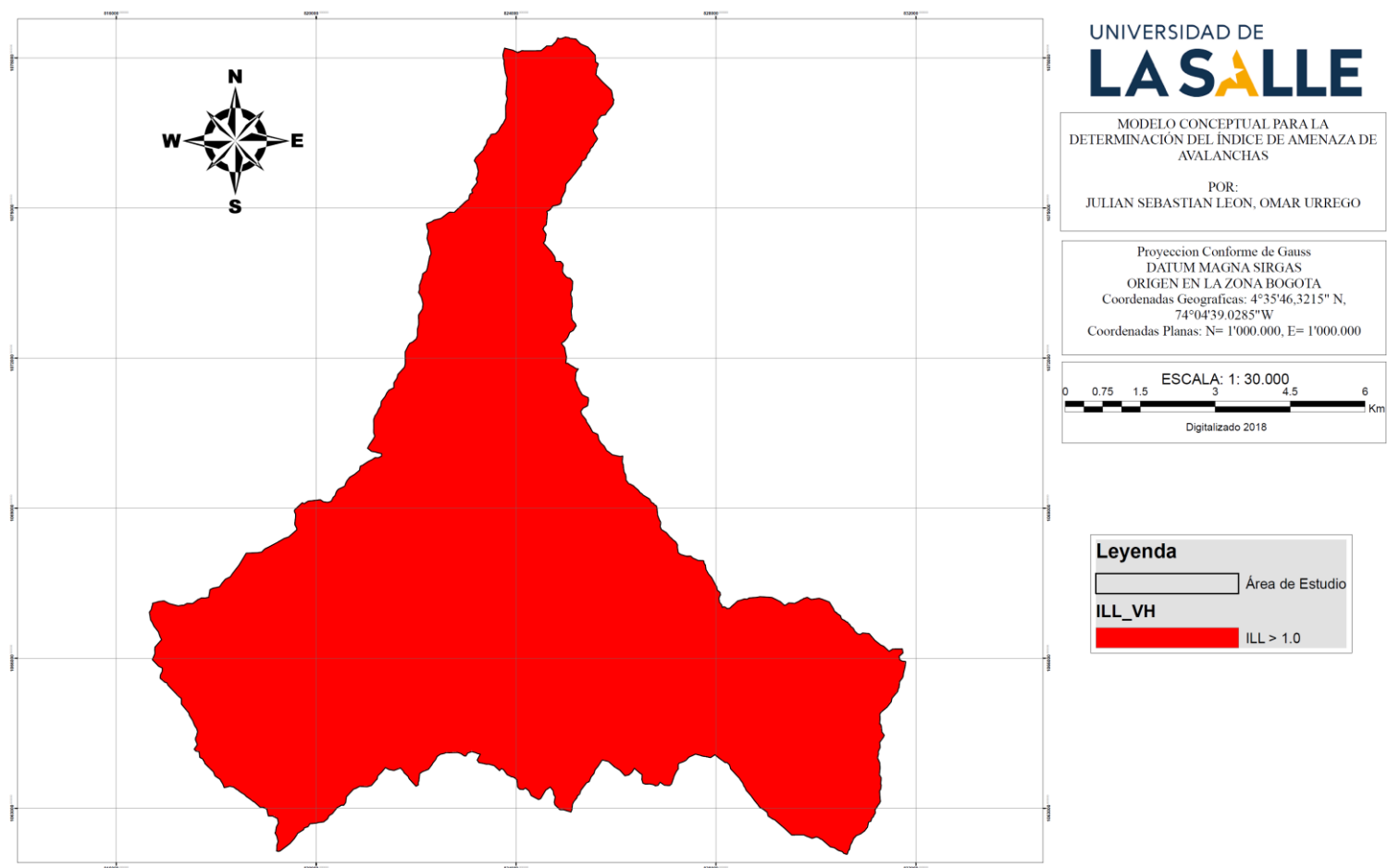


Figura 43. Lluvia media multianual. Fuente: Propia.

A continuación se ilustra el mapa de precipitación media anual y temperatura media anual calificada con base en su contribución a la generación de movimientos en masa, del documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano, 2015.

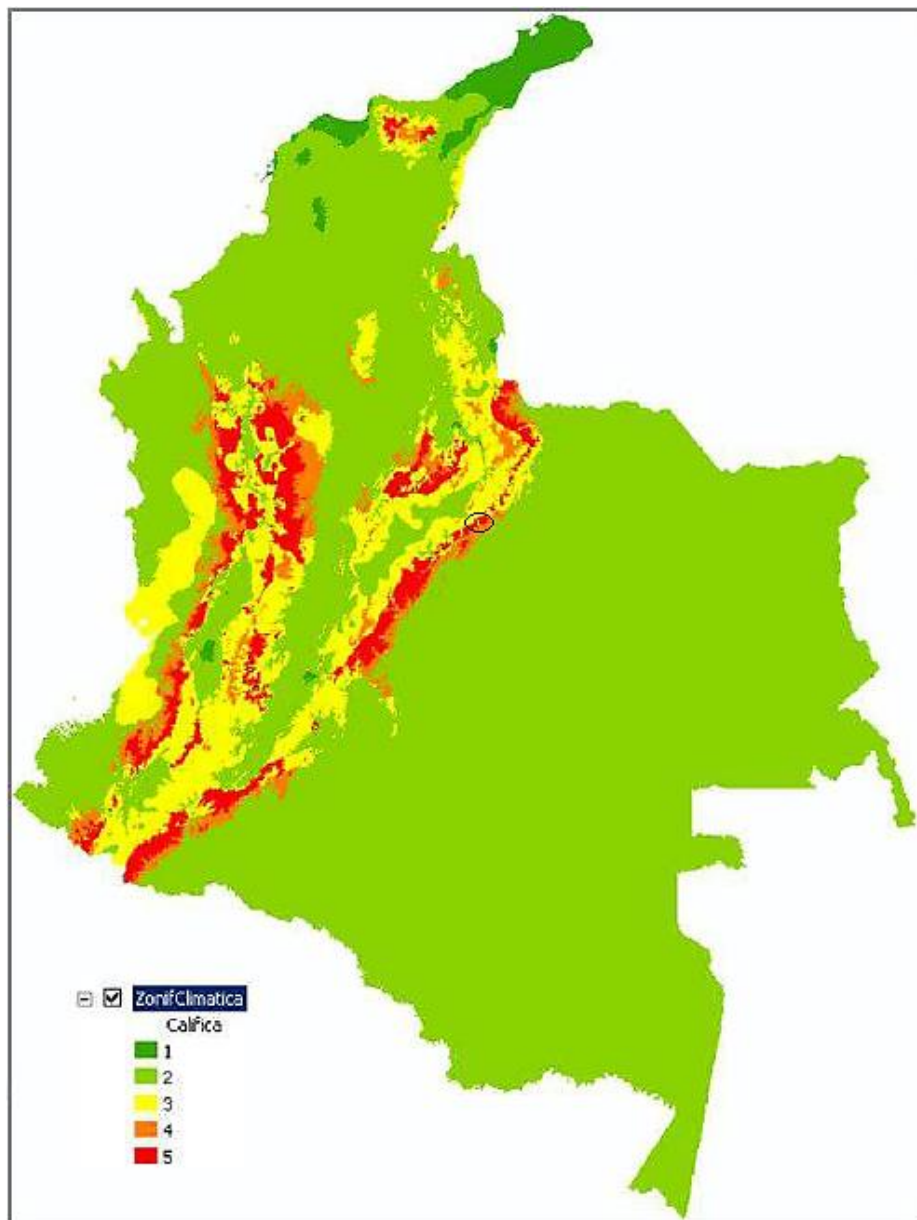


Figura 44. Precipitación media anual y temperatura media anual calificada con base en su contribución a la generación de movimientos en masa. Fuente: SGC, 2015.

## **1.4.7 Lluvia máxima en 24 horas**

### **1.4.7.1 Determinación de la precipitación media y en 24 horas**

Para la determinación de las precipitaciones en 24 horas, se tomaron de referencia valores de las estaciones toquilla, corinto, chameza, tamarindo, aguazul, apto yopal, san jose, pradera la, pajarito, obtenidos del IDEAM; se procesa la información, y se obtienen los valores medios, máximo y mínimo para cada una de las estaciones. Los datos del IDEAM vienen con valores faltantes en sus tablas, para ello se aplicó una metodología para completar la información la cual se toma la celda objetivo (dato faltante) y se mira el histórico en los años pasados para ese mes, es decir, dato faltante de agosto del año 1990, se toman datos de 3 años por encima o 3 años antes y se realiza un ponderado de la información para obtener el dato faltante.

Se elaboró una matriz de correlación la cual se evidencia en la figura 45, para determinar la funcionalidad de los datos entre sí de la estaciones. Los datos que abarcan entre 0.57 y 0.99, son datos los cuales presentan una correlación positiva media - alta, y los datos en rojo, es porque su correlación es perfecta, pero eso solo se presenta en los datos que concuerdan con sus mismas estaciones. Se descartan las estaciones Curital, Tamara y Las Cintas por mala correlación entre estaciones, porcentaje de datos faltantes y por régimen.

Estaciones	Toquilla	Corinto	Chameza	Nimicia Esc Rural	Tamarindo	el morro	la chaparrera	Aguazul	Apto Yopal	La Poyata	Molinos de Casanare	San Jose	San Luis Palenque	Macucuana	La Pradera	Pajarito
Toquilla	1	0.72	0.55	0.78	0.49	0.70	0.63	0.64	0.68	0.61	0.56	0.55	0.60	0.59	0.60	0.72
Corinto	0.72	1	0.66	0.74	0.62	0.82	0.78	0.81	0.79	0.71	0.70	0.74	0.73	0.67	0.76	0.84
Chameza	0.55	0.66	1	0.61	0.61	0.68	0.62	0.62	0.64	0.58	0.67	0.57	0.63	0.56	0.56	0.66
Nimicia Esc Rural	0.78	0.74	0.61	1	0.51	0.71	0.63	0.65	0.67	0.56	0.64	0.60	0.62	0.60	0.59	0.72
Tamarindo	0.49	0.62	0.61	0.51	1	0.59	0.60	0.66	0.67	0.63	0.72	0.59	0.60	0.54	0.68	0.64
el morro	0.70	0.82	0.68	0.71	0.59	1	0.77	0.81	0.80	0.74	0.72	0.75	0.77	0.72	0.73	0.83
la chaparrera	0.63	0.78	0.62	0.63	0.60	0.77	1	0.84	0.85	0.76	0.70	0.80	0.78	0.71	0.80	0.72
Aguazul	0.64	0.81	0.62	0.65	0.66	0.81	0.84	1	0.88	0.76	0.72	0.81	0.76	0.70	0.80	0.76
Apto Yopal	0.68	0.79	0.64	0.67	0.67	0.80	0.85	0.88	1	0.79	0.72	0.81	0.75	0.71	0.81	0.73
La Poyata	0.61	0.71	0.58	0.56	0.63	0.74	0.76	0.76	0.79	1	0.68	0.76	0.75	0.77	0.77	0.70
Molinos de Casanare	0.56	0.70	0.67	0.64	0.72	0.72	0.70	0.72	0.72	0.68	1	0.68	0.68	0.59	0.67	0.71
San Jose	0.55	0.74	0.57	0.60	0.59	0.75	0.80	0.81	0.81	0.76	0.68	1	0.72	0.66	0.77	0.68
x	0.60	0.73	0.63	0.62	0.60	0.77	0.78	0.76	0.75	0.75	0.68	0.72	1	0.74	0.70	0.72
Macucuana	0.59	0.67	0.56	0.60	0.54	0.72	0.71	0.70	0.71	0.77	0.59	0.66	0.74	1	0.69	0.64
La Pradera	0.60	0.76	0.56	0.59	0.68	0.73	0.80	0.80	0.81	0.77	0.67	0.77	0.70	0.69	1	0.70
Pajarito	0.72	0.84	0.66	0.72	0.64	0.83	0.72	0.76	0.73	0.70	0.71	0.68	0.72	0.64	0.70	1

Figura 45. Matriz de correlación entre estaciones. Fuente: Propia

VALORES DE PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL																
ESTACION	CODIGO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VRANUAL	VR CORREGIDO	MEDIA MENSUAL MULTIANUAL
TOQUILLA	35190020	16.56	29.68	49.67	118.93	151.66	206.87	203.28	168.44	131.50	120.94	71.10	33.43	1302.07	1302.07	108.51
CORINTO	35195050	46.59	63.00	140.51	267.97	408.50	423.50	394.30	395.45	335.05	342.16	274.71	97.60	3189.33	3189.33	265.78
CHAMEZA	35190030	66.07	83.23	221.11	482.80	596.72	673.42	655.86	560.04	405.35	441.26	328.42	1.00	4515.26	4515.26	376.27
TAMARINDO	35190040	11.39	13.86	41.95	251.92	267.47	273.99	245.76	184.71	204.54	188.33	133.59	29.89	1847.41	1847.41	153.95
AGUAZUL	35195030	13.51	41.75	125.20	285.54	429.27	411.44	355.75	304.84	326.85	288.06	164.19	49.02	2795.41	2795.41	232.95
APTO YOPAL	35215010	10.60	44.50	115.60	274.48	373.85	324.51	357.95	277.24	251.82	269.48	142.44	40.04	2482.52	2482.52	206.88
SAN JOSE	35190070	9.71	22.57	84.38	209.03	276.34	283.27	256.70	210.57	180.13	243.96	134.51	24.90	1936.09	1936.09	161.34
PRADERA LA	35180010	13.17	34.32	99.23	287.19	372.36	307.39	295.47	266.52	277.43	251.80	156.04	54.02	2414.94	2414.94	201.24
PAJARITO	35190050	25.73	47.81	129.90	317.05	419.95	480.04	474.80	441.61	365.89	304.12	187.51	72.33	3266.73	3266.73	272.23

Figura 46. Valores de precipitación media mensual. Fuente: Propia.

El resultado del procesamiento de datos para la obtención de la precipitación en 24 horas se observa en la siguiente figura:

VALORES DE PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS														
ESTACION	CODIGO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VRANUAL
TOQUILLA	35190020	55.0	37.0	77.5	66.5	66.5	58.0	55.0	55.0	112.0	49.0	39.0	40.4	112.0
CORINTO	35195050	95.0	51.5	75.0	75.5	100.0	101.0	88.5	98.3	92.2	101.0	86.8	61.0	101.0
CHAMEZA	35190030	76.0	82.0	90.0	140.0	105.0	112.0	120.0	143.0	95.0	115.0	110.0	90.9	143.0
TAMARINDO	35190040	54.0	39.0	70.3	132.3	130.0	135.0	120.0	80.0	105.5	135.0	130.0	62.0	135.0
AGUAZUL	35195030	35.0	79.9	146.0	131.0	135.0	136.2	165.7	121.4	134.6	110.0	117.0	85.0	165.7
APTO YOPAL	35215010	31.0	68.8	120.8	129.5	274.6	124.9	139.4	113.0	170.2	146.8	132.6	70.2	274.6
SAN JOSE	35190070	52.0	47.0	74.0	129.0	124.5	119.0	140.0	95.0	125.0	120.0	120.0	74.0	140.0
PRADERA LA	35180010	32.0	70.0	90.0	130.0	130.0	122.0	118.5	130.0	134.0	94.0	120.0	89.0	134.0
PAJARITO	35190050	59.7	48.9	112.3	167.8	134.6	189.5	149.8	134.7	128.7	167.3	131.0	148.0	189.5

*Figura 47. Valores de precipitación en 24 horas de las estaciones en el área de estudio. Fuente: Autores.*

Estos valores de precipitación se procesaron en el software ArcGis, para la complementación de los datos y elaboración de las simulaciones. A continuación, se muestra en la figura 23 una captura de pantalla de los datos procesados obtenido para el cálculo de precipitaciones en 24 horas.



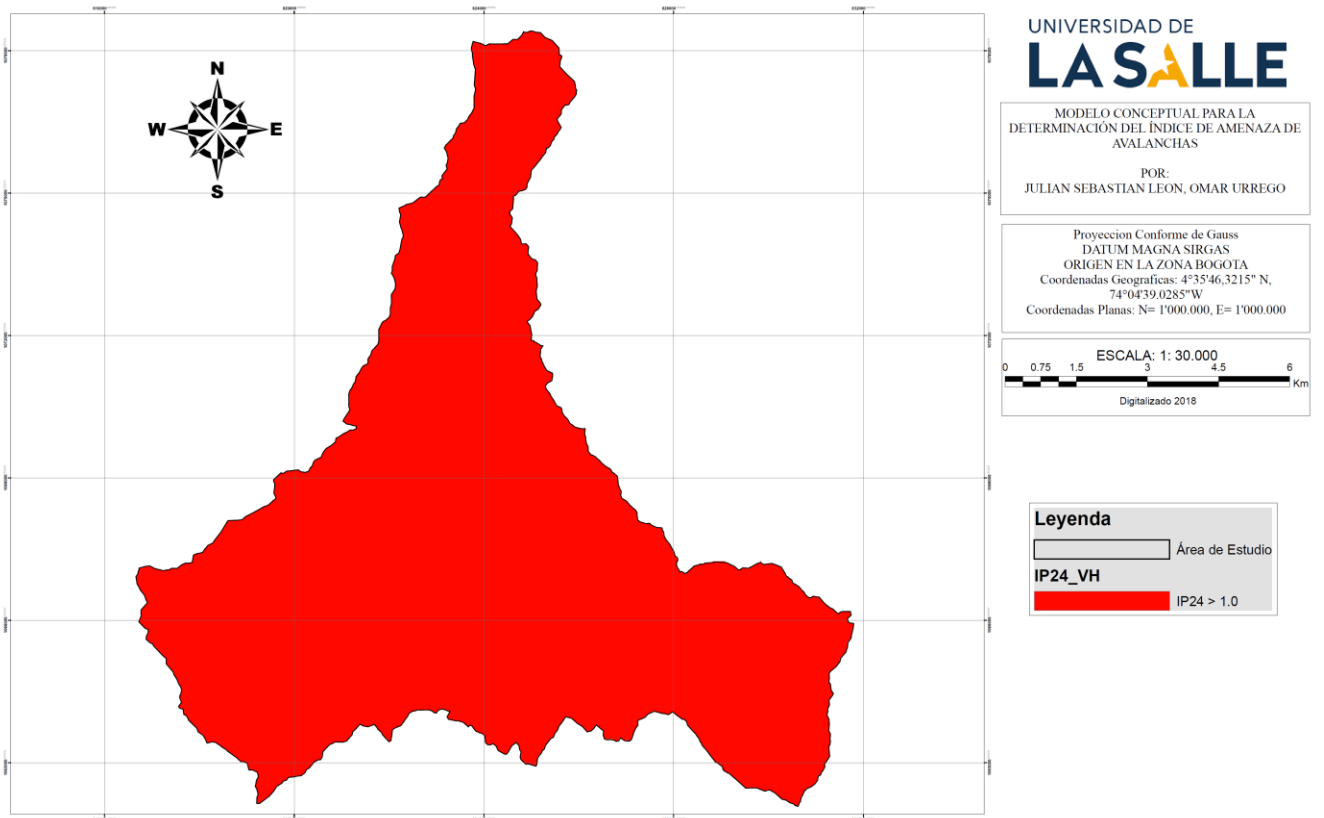


Figura 48. Precipitación en 24 horas. Fuente: Propia.

Según la categorización que se muestra en la siguiente tabla se puede apreciar que los valores de precipitación en 24 horas supera los 120 mm/hora, con excepción de las estaciones de Toquilla y Corinto.

Lluvia máxima en 24 horas P24 (mm)	IP24 (Vh)	Clase
$P_{24} < 30$	$ILL < 0,25$	1
$30 \leq P_{24} < 60$	$0,25 \leq ILL < 0,50$	2
$60 \leq P_{24} < 90$	$0,50 \leq ILL < 0,75$	3
$90 \leq P_{24} < 120$	$0,75 \leq ILL < 1,0$	4
$P_{24} \geq 120$	$ILL \geq 1,0$	5
Rango	120	

Figura 49. Lluvia máxima en 24 horas. Fuente: (FOPAE, 2014).

Como se observa en la siguiente ilustración, se muestra el área de estudio en el cual se realizó una determinación del índice de intensidad de lluvias en una forma más detallada manejando directamente los datos obtenidos de las estaciones del IDEAM, teniendo presente la zonificación de las áreas en las cuales se presentan mayor o menos intensidad de lluvias, debido a que es un piedemonte llanero y tiene un cambio significativo en el relieve, temperatura, humedad y clima en general.

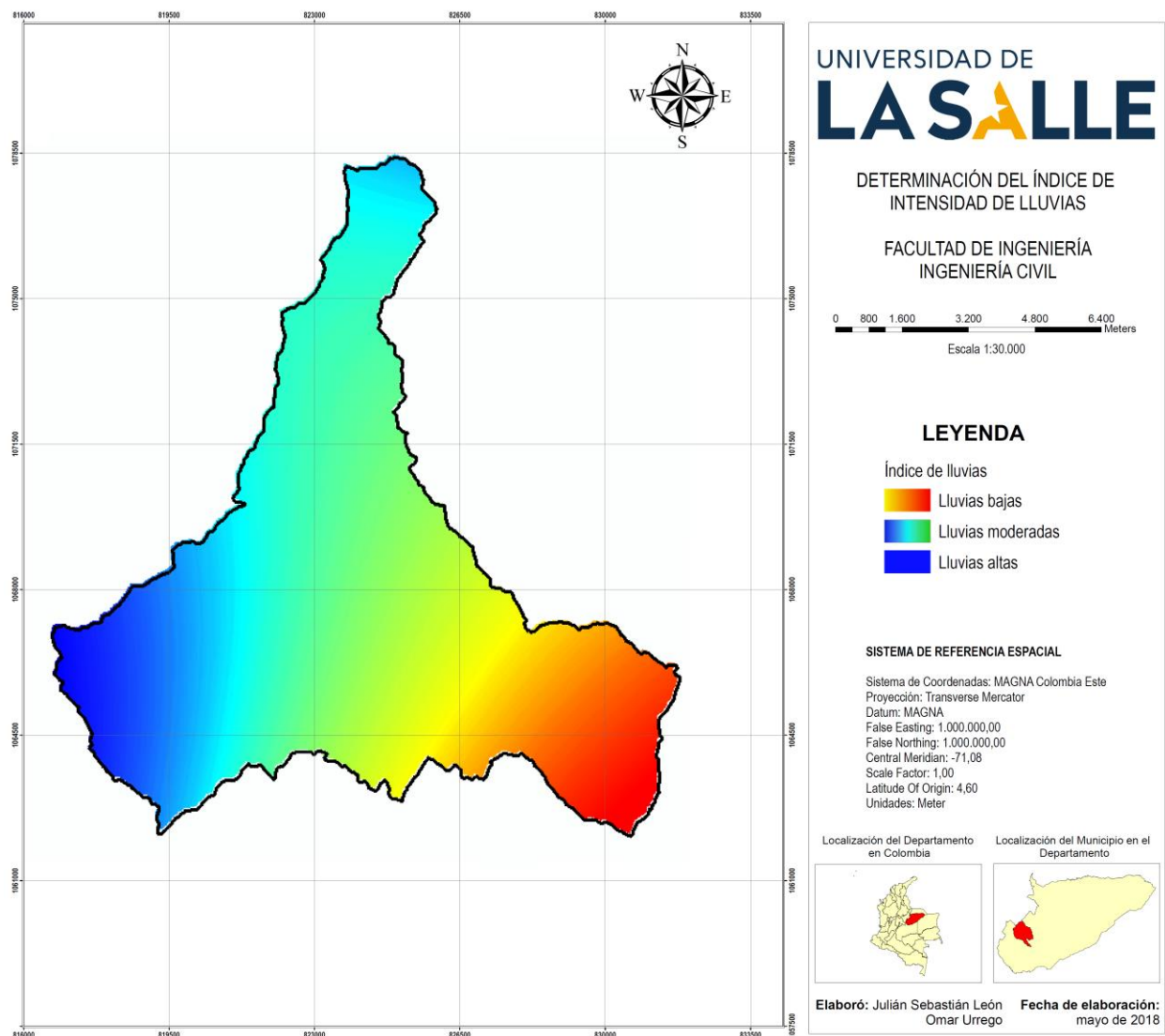


Figura 50. Valores de precipitaciones en 24 horas, captura de pantalla del software ArcGis. Fuente: Autores.

### 1.4.8 Sismicidad.

Se buscó un perfil del suelo en común dada la presencia de material arenoso-arcilloso en la zona, las isoyetas salen a partir de registros del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y los presentados en La Norma de Sismo Resistencia (NSR10), título A, al comparar los resultados con el mapa del SGC se observa gran similitud, así mismo se evidencia que en el área de estudio existen valores de las aceleraciones horizontales pico efectivas en un rango de 0,30 a 0.35, debido a la ubicación en el piedemonte llanero, se escogió un valor de aceleración horizontal de 0.35 debido a que es la fuerza horizontal pico efectiva más crítica, pero según la metodología del FOPAE para valores de  $A_a > 0,30$ , se toma un valor de 5. Así mismo se realizaron comparaciones con las siguientes ilustraciones las cuales son intensidad sísmica máxima observada, intensidad sísmica máxima esperada y Zonas de Amenaza Sísmica Norma Sismo Resistente (NSR10).

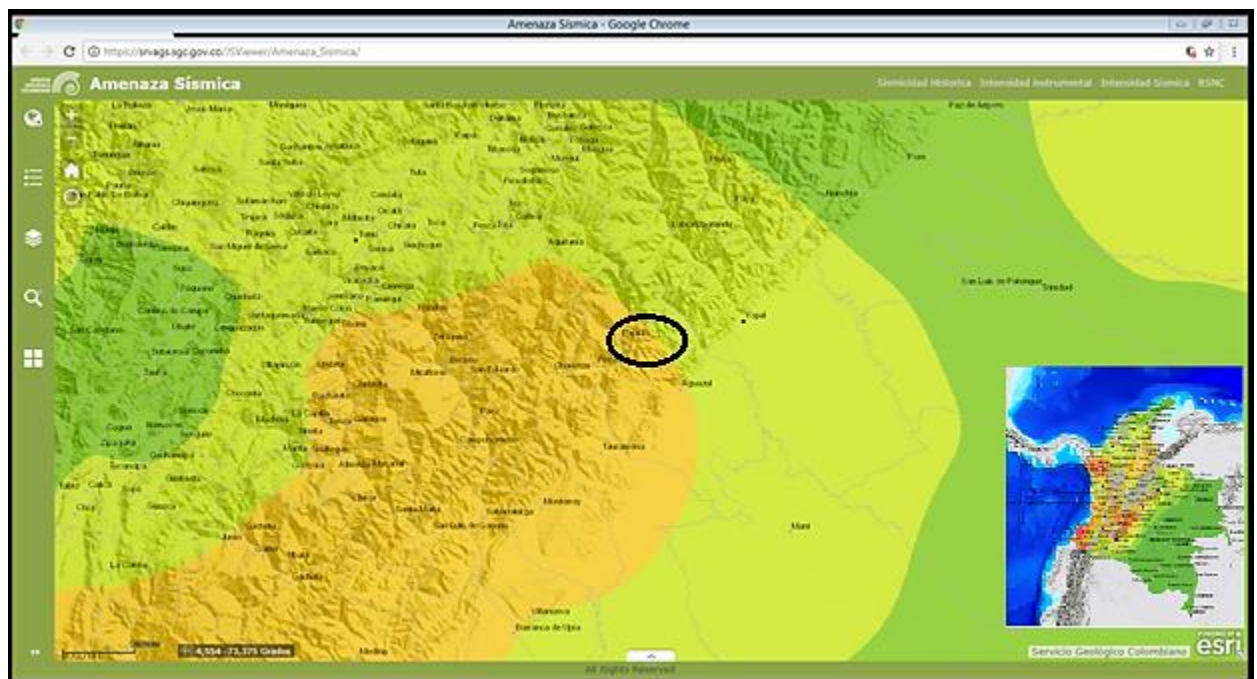


Figura 51. Intensidad sísmica máxima observada. Fuente: SGC, 2018.

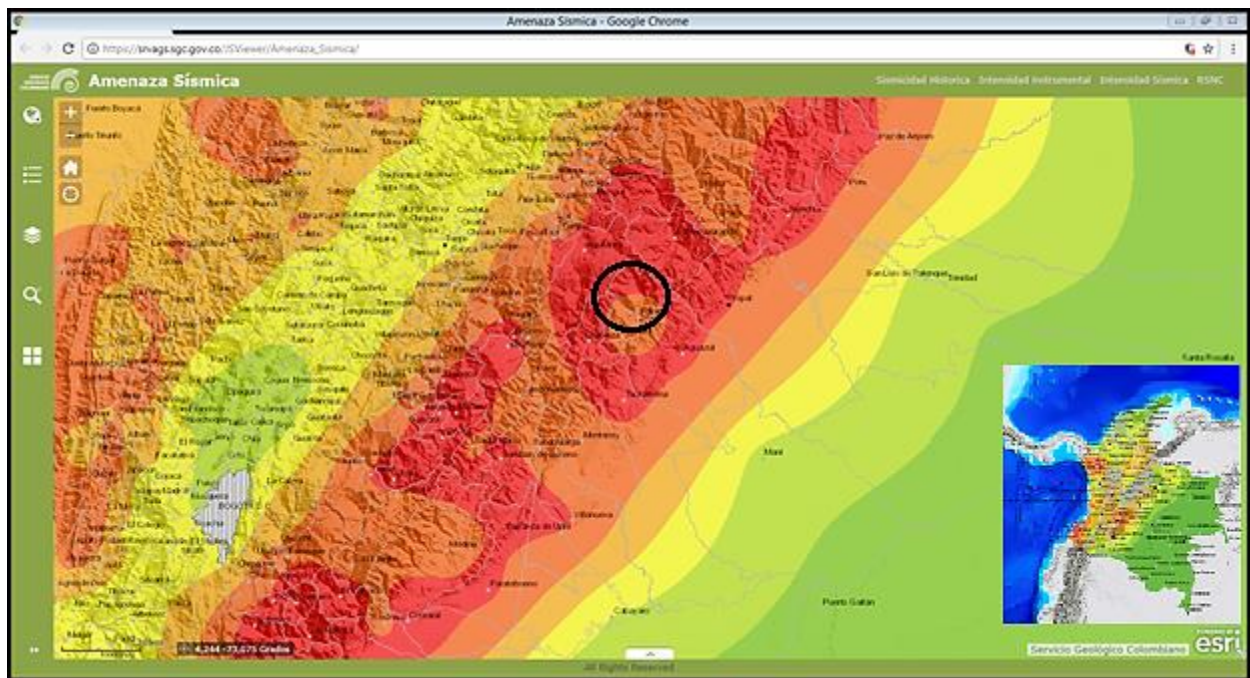


Figura 52. Intensidad sísmica esperada. Fuente: SGC, 2018.

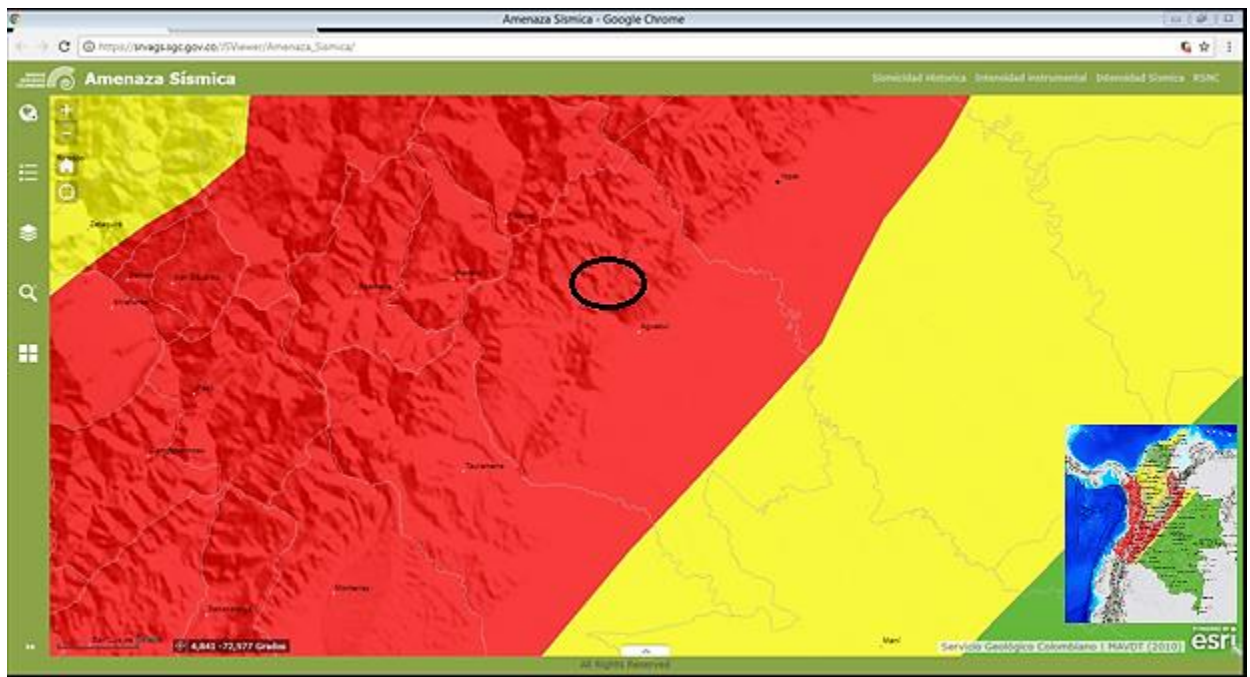


Figura 53. Zonas de Amenaza Sísmica Norma Sismo Resistente (NSR10). Fuente: SGC, 2018.



En la siguiente ilustración se puede observar el índice de Amenaza de avalancha por medio de las aceleraciones horizontales pico efectivas, realizadas en el programa ArcGIS, el cual muestra cambios en las aceleraciones horizontales pico efectivas (Aa), a medida que existe un cambio en el relieve esto debido a que el área de estudio se encuentra en una zona de piedemonte el cual la parte llano se encuentra en la parte sur oriental y su parte más montañosa se observa en la parte noroccidental, siendo notable el cambio de las aceleraciones en dichas direcciones.

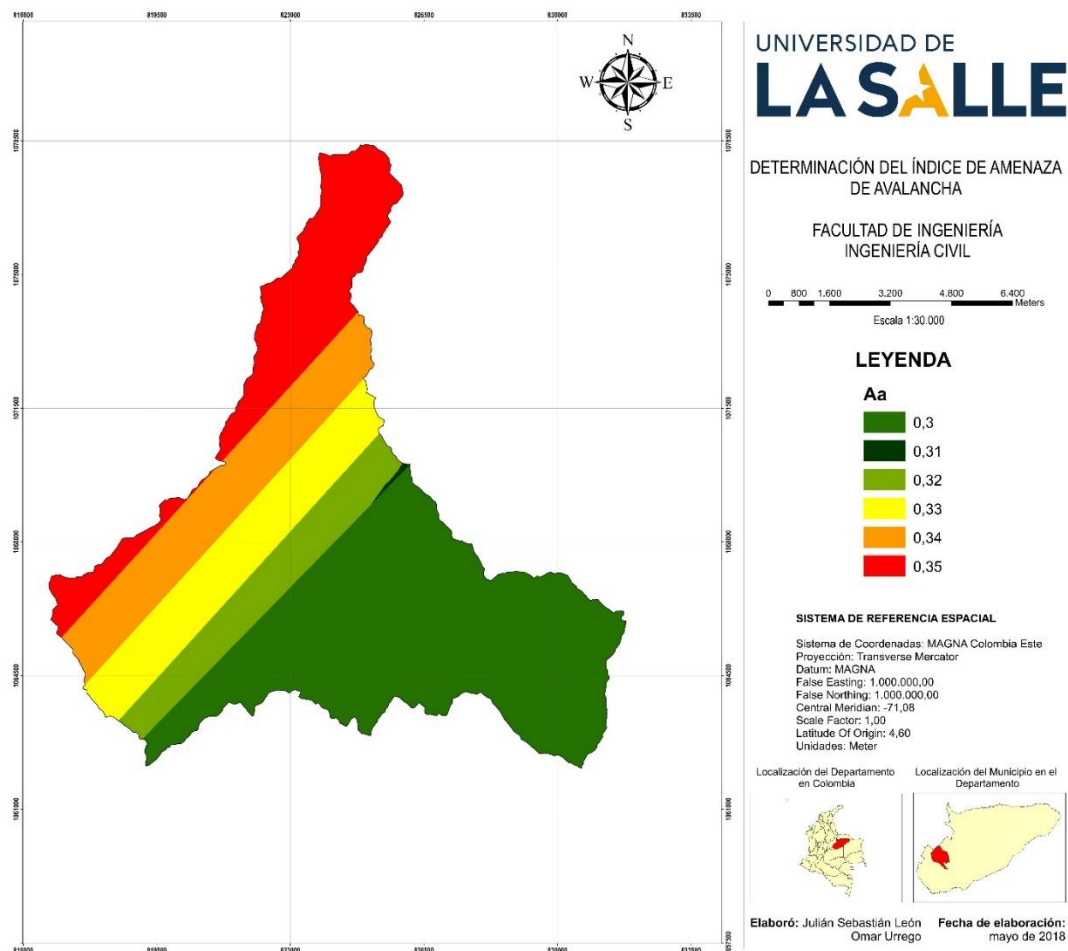
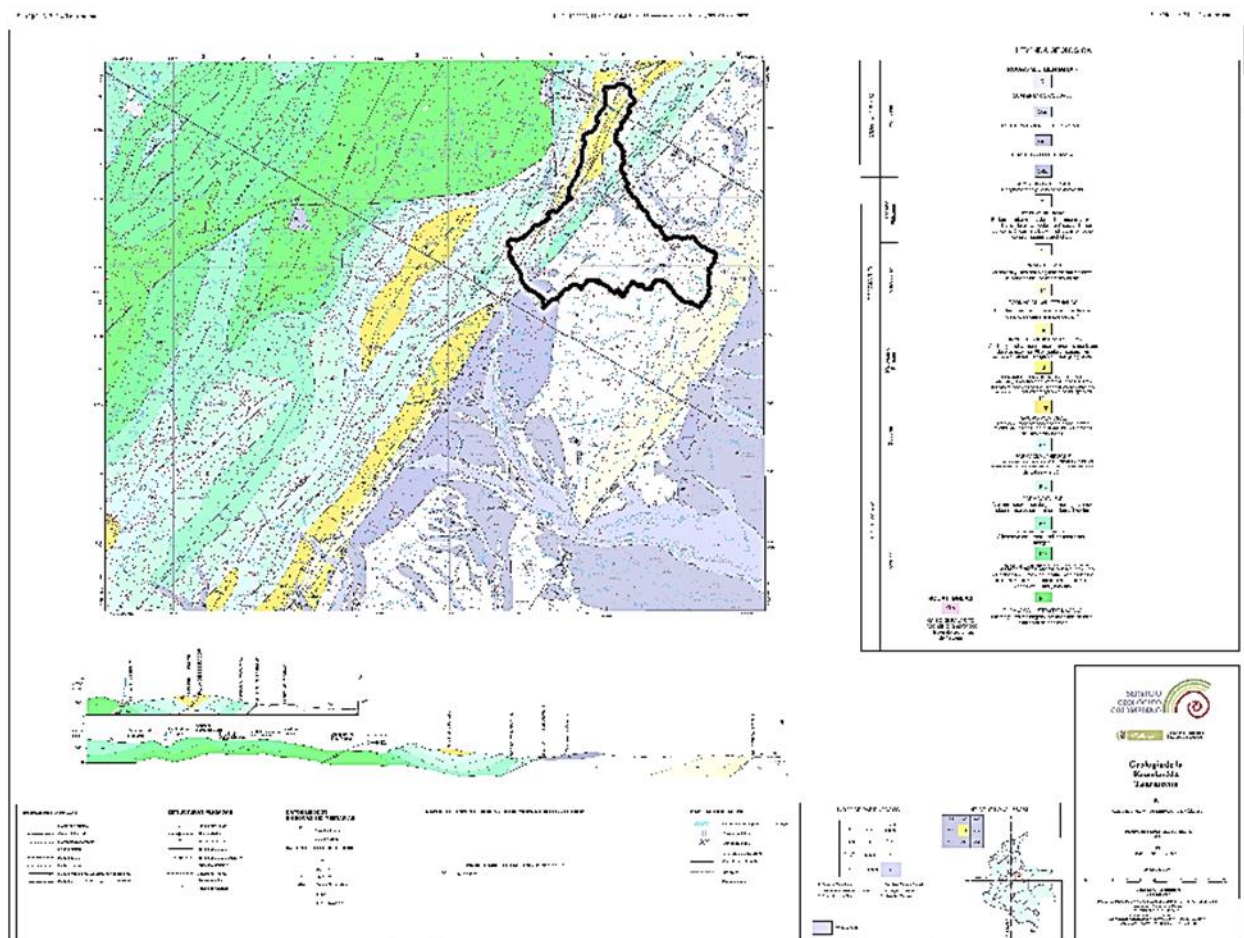


Figura 54. Determinación del índice de Amenaza de avalancha por medio de las aceleraciones horizontales pico efectivas.  
Fuente: Propia

## 1.4.9 Geología

Para la identificación de las diferentes zonas geológicas que hacen parte del área de estudio se utilizó la plancha geológica 211 a escala 1:100.000 de INGEOMINAS, la cual se ilustra a continuación y en la cual se identificaron 10 zonas geológicas por ende, se realizó un estudio que sirvió de apoyo con 10 apiques para la complementación del estado de las laderas en los cauces que componen la quebrada, verificando con la plancha la caracterización litoestratigráfica de las unidades geológicas en el área de estudio (tipos de roca o sedimentos del área), identificando las fallas de origen geológico que controlan estructuralmente el comportamiento de los macizos.



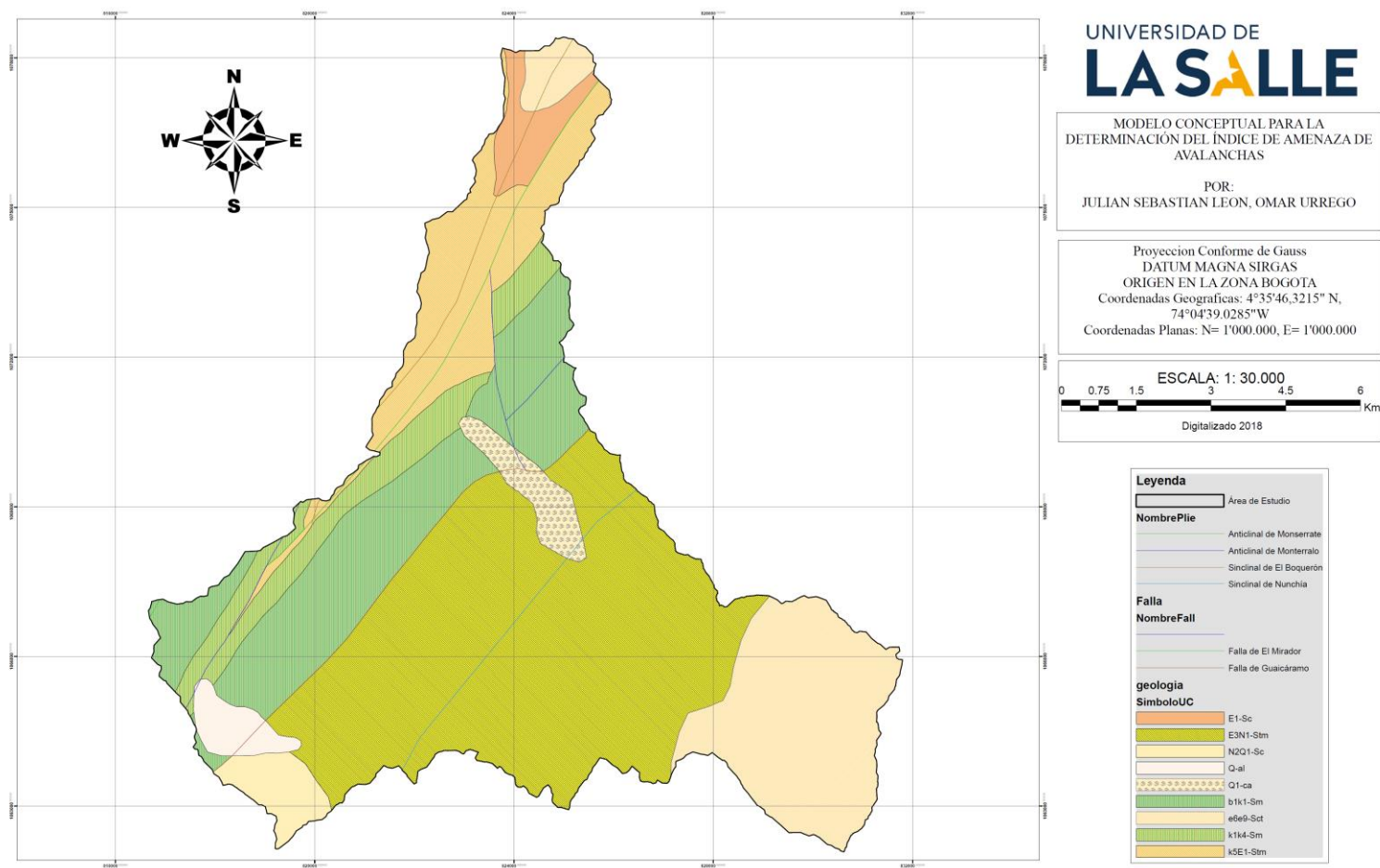


Figura 56. Zonas Geológicas presentes en el Área de estudio de acuerdo a la plancha geológica No 211 a escala 1:100.000 de INGEOMINAS. Fuente: Propia.

Se logró hacer una comparación y una retroalimentación con la clasificación de Hutchinson (1988), quien le da a la clasificación de los movimientos en masa en un enfoque geológico e hidrogeológico muy útil, con muchas alternativas cinemáticas, y contribuyo a la comprensión de los procesos de inestabilidad de escala regional asociados a hundimientos profundos de montañas (sagging), en las laderas de montañas. Colaboro con Cruden & Varnes (1996) al desarrollo más reciente sobre la terminología y caracterización de los deslizamientos y con Hungr (2001) en una tarea similar relacionada con los movimientos en masa del tipo flujo.

En la siguiente tabla se ilustran los movimientos de más frecuente ocurrencia en Colombia como son:

- Caídas, volcamientos, deslizamientos y rodamientos, reptación y flujos.

Tipo	Mecanismo	Material desplazado	Subtipo
<b>Caídas</b>	Desprendimiento de material que se desplaza por el aire, brinca o rueda	Rocas, Suelos	Caída de rocas y suelos Rodamiento de bloques Torrentes de bloques
<b>Volcamientos</b>	Masas que rotan en un punto sin desprenderse	Rocas, detritos	Único o múltiple de conjunto de bloques de roca. De bloques individuales liberados por tensión. De detritos.
<b>Deslizamientos</b>	La masa se desplaza sobre una superficie de falla por cortante sin desintegrarse apreciablemente	Rocas, Suelos	Rotacional (hundimiento) Rotacional retrogresivo múltiple. Traslacional planar. Traslacional en cuña Compuesto



Tipo	Mecanismo	Material desplazado	Subtipo
<b>Flujos, avalanchas y deslizamientos por flujo</b>	La masa se mueve grandes distancias la mayor parte del trayecto en forma viscosa	Rocas, detritos, tierras, lodos, turba	Flujos de detritos (lahares y avenidas torrenciales) Flujos de tierras, Flujos de lodo, Avalanchas de detritos, Deslizamientos por flujos de material granular-licuación ( <i>flow slide</i> ) Deslizamiento por flujo de arcilla sensitiva ( <i>Clay-flow slide</i> ).
<b>Creep (Reptación)</b>	La masa se deforma muy lentamente sin fallar	Rocas, suelos, talus	Creep superficial Creep profundo Solifluxión y Gelifluxión ( <i>flujo</i> )

Figura 57. Tipos y subtipos de procesos y sus características más importantes. Fuente: SGC, 2017.

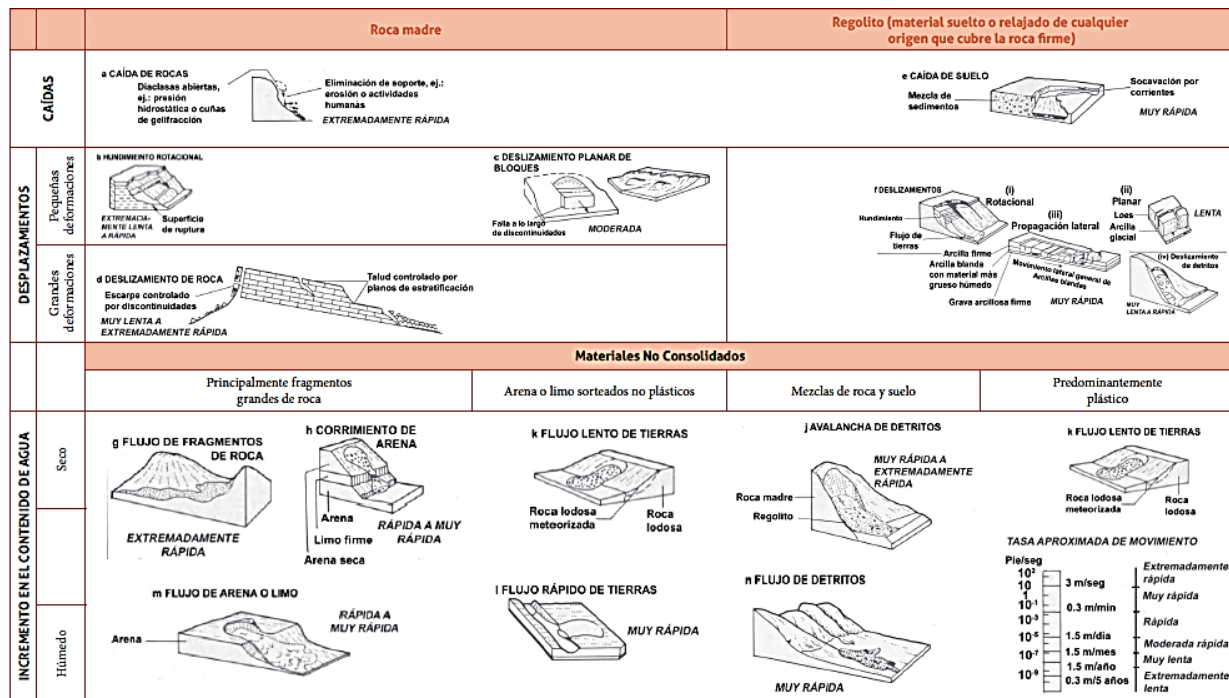


Figura 58. Clasificación de los deslizamientos según Varnes, 1958.

La ocurrencia de este tipo de eventos obedece a la confluencia de una serie de factores entre las que se encuentran la geología, geomorfología, cobertura de la tierra, lluvias, sismos y la acción del hombre al utilizar el suelo del área de estudio de una manera inadecuada. Varnes, 1958

Por otra parte conociendo las zonas geológicas presentes en el área de estudio se logró identificar algunos factores y causas de la inestabilidad de laderas en un estado inicial con apoyo del documento (Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia, elaborado por el Ing. Juan Montero Olarte, presentado por el Servicio Geológico Colombiano, 2015), los cuales se describirán brevemente a continuación pero de una forma más detallada en los resultados.

Encontramos en los factores litológicos la presencia de rocas lodosas, areniscas, conglomerados, margas, rocas metamórficas, arcillas normalmente consolidadas, depósitos de origen aluvial de carácter torrencial, rocas y materiales solubles, en los cuales se observan factores relacionados con el estado de alteración o degradación mecánica por presencia de materiales arcillosos expansivos afectados por la humedad, y presencia de materiales solubles como lo son yeso, calcita y dolomita en masa o como rellenos de diaclasas.

Es de gran importancia entender que en el piedemonte llanero se observan factores relacionados con la actitud estructural manifestándose en discontinuidades estructurales desfavorablemente orientadas en los macizos, se pueden alternar capas permeables e impermeables o de capas rígidas y plásticas, también se pueden alternar las areniscas y rocas lodosas y acumulación de agua, que ayudan a generar erosión y desprendimientos que afectan principalmente en las capas del suelo sedimentario del Terciario y Cretáceo

El estado de esfuerzo esta en constante cambio debido a la influencia de los factores anteriormente mencionados, potenciando la variación de susceptibilidad los cambios en el estado inicial debido a la acción del clima, de la precipitación y flujo del agua, actividad volcánica, sismotectónica y consecuencia de la actividad antropica la cual se explicara mas ampliamente en los resultados.

En la siguiente figura se relaciona los tipos de macizos de acuerdo a su comportamiento.

Tipos de macizos	Comportamiento
Rocas muy blandas	Rocas sedimentarias clásticas del Terciario pobremente litificadas, constituidas por la intercalación de arcillolitas, areniscas deleznable del Neógeno o rocas cristalinas ígneas o metamórficas moderada a altamente descompuestas. Las fallas de taludes están controladas por litología y, en consecuencia, se consideran macizos de roca blanda
Rocas moderadamente blandas	Rocas como las sedimentarias del grupo anterior, mejor litificadas o con estratificación gruesa (ejemplo, lodolitas y algunos shales) o rocas cristalinas moderadamente descompuestas. Las fallas de los taludes están controladas predominantemente por la litología, y en consecuencia se consideran macizos de roca blanda.
Rocas moderadamente duras	Rocas clásticas del Cretácico y más antiguas bien litificadas (ejemplo, areniscas) o de alta consolidación diagenética (ejemplo, algunas rocas lodosas), con estratificación variable, o rocas cristalinas en general débil a moderadamente degradadas (ejemplo, calizas, y algunas areniscas). Las fallas de los taludes están controladas predominantemente por las discontinuidades estructurales, y en consecuencia se consideran macizos de rocas duras.
Rocas duras a muy duras	Rocas cristalinas ígneas y metamórficas en general, en estado fresco, y algunas pocas cristalinas sedimentarias, en las cuales las fallas de los taludes están controladas por las discontinuidades estructurales y se consideran macizos de roca dura.

*Figura 59. Pronóstico de comportamiento de macizos rocosos en Colombia, considerando la influencia relativa del material (litología) y de las discontinuidades estructurales. Fuente: SGC, Juan Montero Olarte, pág 103.*

En la siguiente figura se muestra la resistencia a la compresión de algunas rocas colombianas.

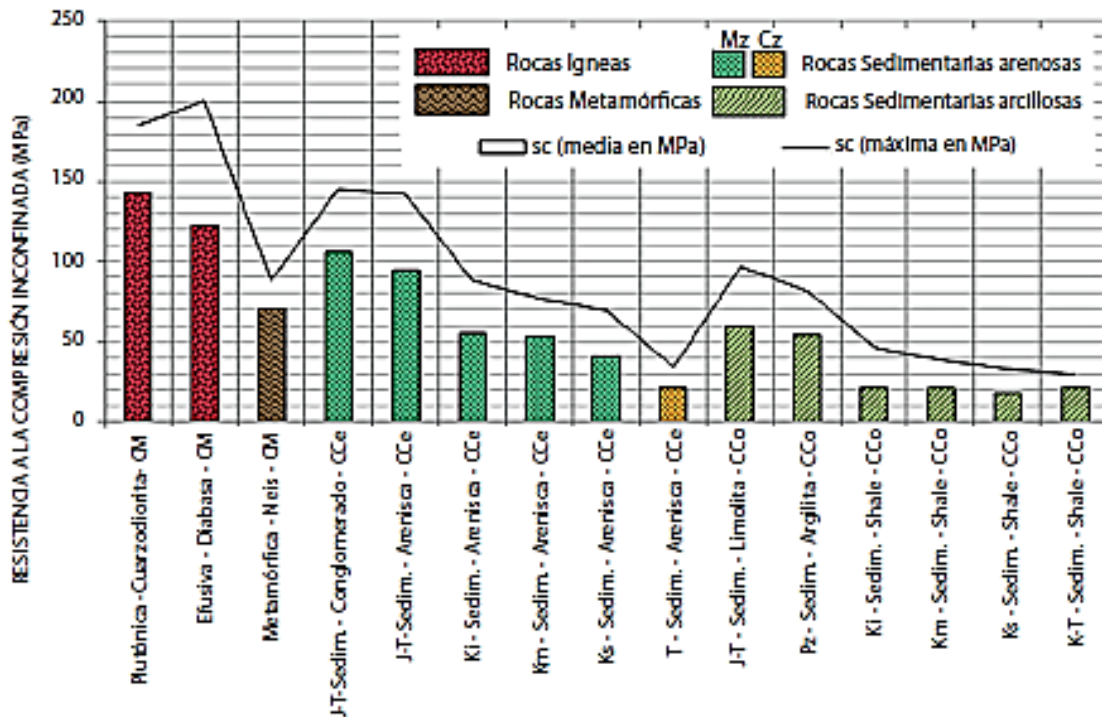


Figura 60. Resistencia a la compresión de algunas rocas colombianas. Fuente: Montero, Ángel & Gonzales, 1982.

Ya que el área de estudio se encuentra en el piedemonte llanero se investigó más acerca de los tipos de movimientos en masa presentes en este tipo de relieve en el cual se logró hacer una retroalimentación con el documento (Distribución de los movimientos en masa en los dominios de amenaza relativa en Colombia, SGC, 2002), donde se puede observar en el mapa de categorías de amenaza relativa por movimientos en masa de Colombia, (INGEOMINAS, 2002), donde se considera quince provincias de amenaza numeradas en orden decreciente de susceptibilidad a deslizamientos, flujos y otros procesos, donde se tienen en cuenta factores desencadenantes de movimientos en masa como lluvias, sismos y otras variables incluidos los antropogénicos, estos se clasifican en cinco categorías (Muy alta, Alta, Media, Baja y Muy

Baja), esto de acuerdo a la distribución de la inestabilidad en el territorio teniendo en cuenta la densidad, frecuencia y recurrencia de los movimientos.

A través del mapa de Categorías de amenaza relativa por movimientos en masa de Colombia, (INGEOMINAS, 2002), se puede ubicar el área de estudio y se identifica que esta se encuentra entre dos tipos de amenaza el primero (Amenaza alta, provincias III-IV), y el segundo (Amenaza baja IX-XI), debido a que el área de estudio se encuentra en el piedemonte de la cordillera Oriental.

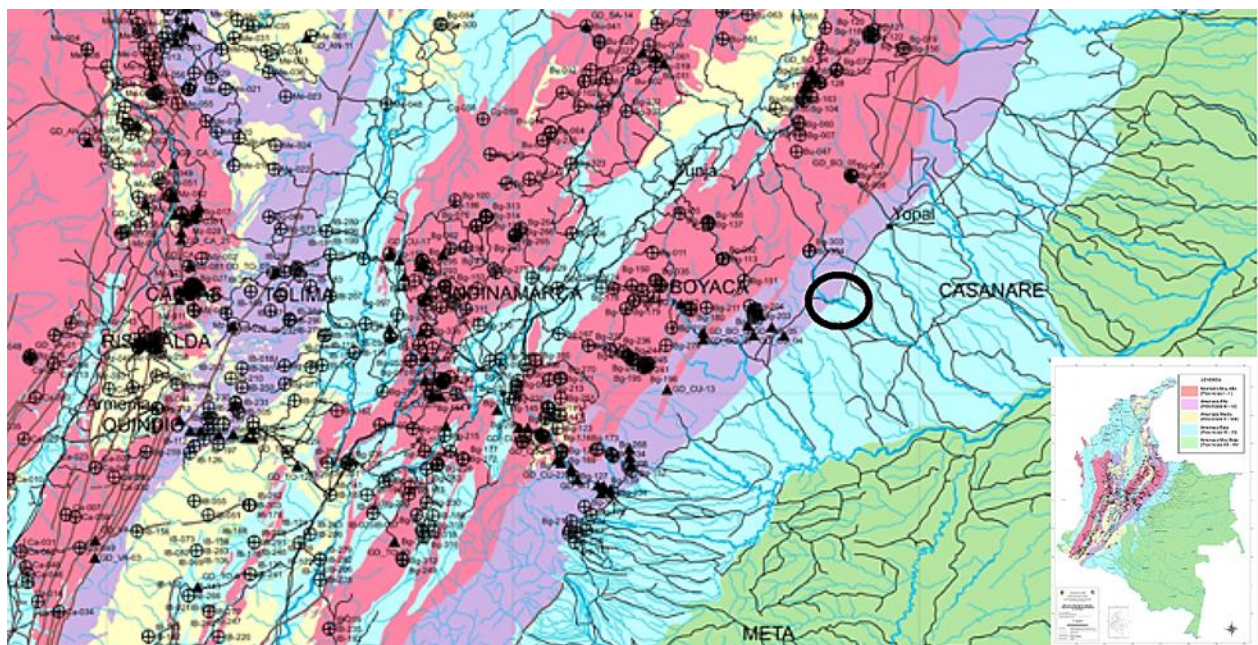


Figura 61. Categorías de amenaza relativa por movimientos en masa de Colombia en el área de estudio. Fuente: INGEOMINAS, 2002.



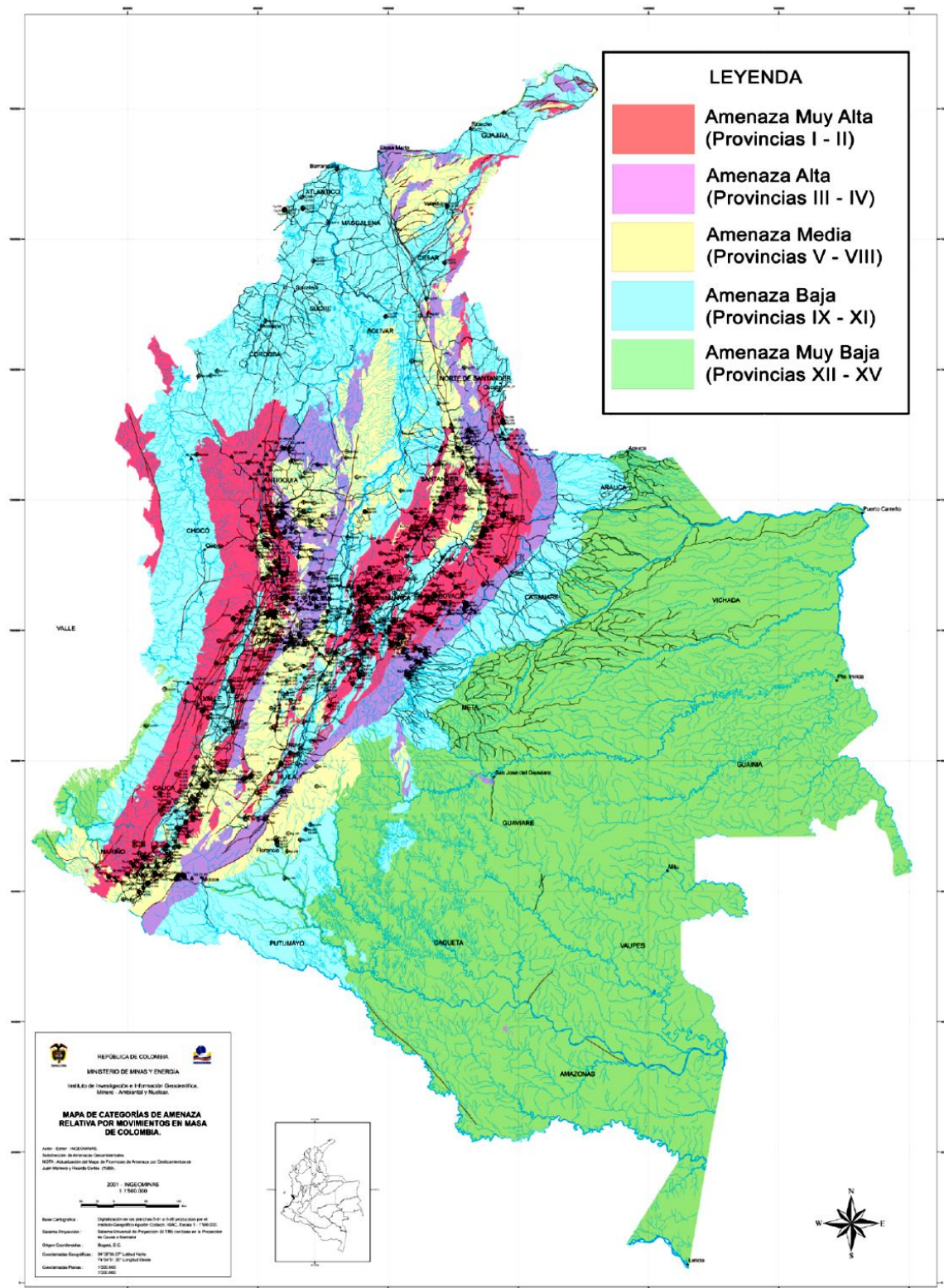


Figura 62. Categorías de amenaza relativa por movimientos en masa de Colombia. Fuente: INGEOMINAS, 2002.

Según el documento de clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia, SGC, 2015, se puede observar que en la provincia III existe un predominio de rocas metamórficas e ígneas intrusivas, con fuerte afectación tectónica, que forman parte de algunos macizos cristalinos de la cordillera Oriental, teniendo como característica importante el gradiente topográfico es muy pronunciado y en ambas provincias las rocas están densamente fracturadas y cizalladas (milonitas) en los corredores de falla, donde se observa que los movimientos más frecuentes y recurrentes son las caídas, volcamientos, deslizamientos planares y de cuñas; y flujos de detritos y avenidas torrenciales; en el caso de rocas muy fracturadas se presentan además deslizamientos rotacionales.

En la provincia IV existe un predominio de rocas afectadas tectónicamente en el corredor de falla del borde llanero, estribación y piedemonte Oriental de la cordillera Oriental, estas zonas tienen un alto desarrollo industrial por lo cual son sometidas a una fuerte intervención antrópica, debido a esto se observa una fuerte erosión hídrica concentrada, (cárcavas) y enormes deslizamientos y flujos de detritos y tierras, siendo de Amenaza alta.

En la zona de amenaza baja (parte sur oriental del área de estudio) se ubican las provincias (IX-XI), la provincia IX debido a que el área de estudio se encuentra en el pie de monte de la cordillera Oriental. Se puede apreciar que la provincia IX son bordes montañosos sedimentarios, las rocas expuestas en zonas de falla se presentan muy fracturadas y cizalladas, asociado con el alto gradiente topográfico, se presenta alta torrencialidad en los cauces de montaña y fuerte socavación en el fondo de los valles jóvenes. Predominan los deslizamientos, reptación y flujos.

En la provincia XI se encuentran depósitos aluviales bisectados, aluviotorrenciales están constituidas por rocas blandas o depósitos torrenciales en los bordes de piedemonte, están

constituidas por rocas blandas o depósitos poco consolidados, son muy comunes los procesos de fuerte erosión hídrica y los flujos de detritos.

Sobre el mapa de amenaza relativa resultante, se presentan 1298 registros de movimientos en masa tomados del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

A continuación, se ilustra el mapa de terrenos Geológicos de Colombia, en la cual se puede identificar el área de estudio en el borde llanero No 31 en la Convención).

Siendo este un Terreno adjunto al borde Llanero de amenaza relativa Alta, esta conformado por rocas sedimentarias del Terciario y cristalinas del Mesozoico y Paleozoico afectadas de manera severa en el corredor de los sistemas de falla del borde llanero, debido a su ubicación es un terreno propuesto adjunto al supraterrano Cretáceo en la estribación oriental de la cordillera Oriental en el corredor de la Falla de Guaicaramo y otras fallas de borde Llanero; incluye los depósitos aluviotorrenciales del piedemonte.



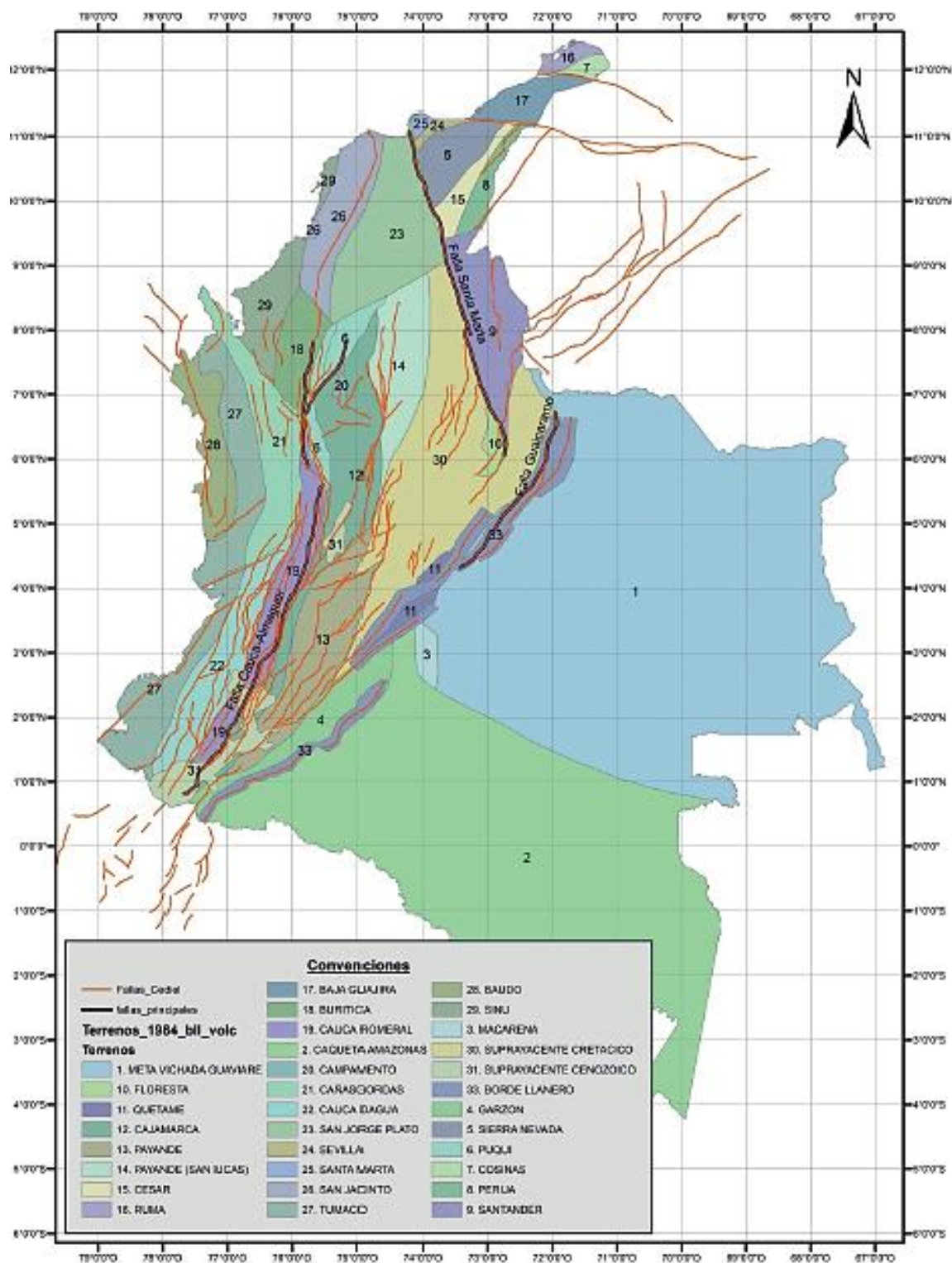


Figura 63. Mapa de terrenos Geológicos de Colombia. Fuente: INGEOMINAS, 1986.

Guaica ramo, teniendo un dominio de Amenaza relativa Alta.



Figura 64. Zonificación de Dominios de Amenaza Relativa (DAR). INGEOMINAS, 1986.

### 1.4.10 Índice de amenaza de avalanchas originadas por los materiales depositados superficialmente en las laderas (IAAL)

Para calificar esta amenaza se consideran los siguientes siete factores:

1. Cantidad de material depositado en las laderas;
2. Inclinação de las laderas;
3. Cobertura con árboles o arbustos;
4. Pendiente longitudinal del cauce;
5. Humedad general;
6. Lluvia máxima en 24 horas;
7. Sismicidad.

#### 1.4.10.1 Cantidad de material depositado en las laderas (D)

La cantidad de material depositado en las laderas se caracteriza a través del volumen de material superficial que ocupa toda la cuenca.

Depósitos D en m <sup>3</sup>	ID (Vh)	Clase
D < 10.000	ID < 0,01	1
10.000 ≤ D < 100.000	0,01 ≤ ID < 0,10	2
100.000 ≤ D < 500.000	0,10 ≤ ID < 0,50	3
500.000 ≤ D < 1.000.000	0,50 ≤ ID < 1,0	4
D ≥ 1.000.000	ID ≥ 1,0	5
Rango	1.000.000	

*Figura 65. Material depositado en las laderas. Fuente: (FOPAE, 2014).*

**Por tanto, el índice de depósitos en ladera en escala homologada de 0 a 1 será:**

$$ID = \left(\frac{1}{1000000}\right) * D, \text{ con } D \text{ en } m^3.$$

$$D = (98410 * 3) = 295230m^3$$

$$ID = (1/1000000) * (295230m^3) = 0,295$$

#### 1.4.10.2 Inclinación de las laderas (P)

La inclinación de las laderas se estimará mediante la siguiente tabla:

Pendiente del terreno R(%)	IR (Vh): f2	Clase
P < 5	IP < 0,05	1
5 ≤ P < 25	0,05 ≤ IP < 0,25	2
25 ≤ P < 50	0,25 ≤ IP < 0,50	3
50 ≤ P < 100	0,50 ≤ IP < 1,0	4
P ≥ 100	IP ≥ 1,0	5
Rango	100	

*Figura 66. Inclinación en las laderas. Fuente: (FOPAE, 2014).*

**Por tanto, el índice de pendiente en escala homologada de 0 a 1 será:**

$$IR = (1/100) * R, \text{ con } R \text{ en } \%$$

Pendiente general del terreno promedio es de 62%

$$IR = (1/100) * (62\%) = 0,62$$

#### 1.4.10.3 Cobertura con árboles o arbustos

Este parámetro se conocerá con los mapas de cobertura vegetal.

Cubrimiento de la cuenca con árboles o arbustos V (%)	IV (Vh)	Significado	Clase
> 80	< 0,0125	Más del 80 % de la cuenca está cubierta de árboles o arbustos	1
60 a 80	$0,0125 \leq IC < 0,0166$	Entre el 60 % y el 80% de la cuenca está cubierta de árboles o arbustos	2
40 a 60	$0,0166 \leq IC < 0,025$	Entre el 40% y el 60% de la cuenca está cubierta de árboles o arbustos	3
20 a 40	$0,025 \leq IC < 0,05$	Entre el 20% y el 40% de la cuenca está cubierta de árboles o arbustos	4
< 20	$\geq 0,05$	Menos del 20% de la cuenca está cubierta de árboles o arbustos	5
Rango = 100	1		
Vh: calculado con base en el inverso del cubrimiento, dado que el efecto de la cobertura es inverso sobre la amenaza (a menor cobertura mayor amenaza)			

Figura 67. Cobertura vegetal. Fuente: (FOPAE, 2014).

Vegetación= Bosques 28,4%, pasto 20%, agrícola 28%, y áreas que no tienen vegetación 14,6%

Por tanto, el índice de cobertura de árboles en escala homologada de 0 a 1 será:

$$IV = \left( \frac{1}{v} \right), \text{ con } v \text{ en } \%$$

$$IV = \left( \frac{1}{28,4} \right) = 0,0352$$

#### 1.4.10.4 Pendiente longitudinal crítica del cauce P. Según Zimmerman et al (1997)

$$SC = 0.32A^{-0.20}$$

$$SC = 0.32(98410)^{-0.20} = 0,0321$$

Donde Sc es la pendiente crítica longitudinal del cauce, Al área de la cuenca hasta la estación y S es la pendiente longitudinal medida. La relación inversa entre Sc y A indica que, a mayor pendiente del cauce, será necesario un caudal líquido menor para desencadenar el flujo torrencial. Si la pendiente medida es superior, la amenaza es alta y si es menor, la amenaza es baja. En el siguiente cuadro IP es el índice de pendiente, en valores homogeneizados (Vh).

Relación S/SC	IP (Vh)	Clase
$S/Sc < 0,50$	$IP < 0,33$	1
$0,50 \leq S/Sc < 0,75$	$0,33 \leq IP < 0,50$	2
$0,75 \leq S/Sc < 1,00$	$0,50 \leq IP < 0,66$	3
$1,00 \leq S/Sc < 1,50$	$0,66 \leq IP < 1,00$	4
$S/Sc \geq 1,50$	$IP \geq 1,00$	5
Rango	1,5	

Figura 68. Valores de relación S/SC. Fuente: (FOPAE, 2014).

Por tanto, el índice de pendiente longitudinal del cauce IP en escala homologada de 0 a 1 será:

$$IP = \left( \frac{1}{1.50} \right) * \left( \frac{S}{SC} \right), \text{ con } S \text{ y } SC \text{ en } \%$$

$$IP = \left( \frac{1}{1.50} \right) * (3,21) = 2,14$$

#### 1.4.10.5 Humedad general del terreno

La humedad general del terreno se puede caracterizar a través del valor de la lluvia media multianual.

Lluvia media multianual LL (mm)	ILL (Vh)	Clase
LL<700	ILL<0,35	1
700≤LL<1.000	0,35≤ILL<0,50	2
1.000≤LL<1.500	0,50≤ILL<0,75	3
1.500≤LL<2.000	0,75≤ILL<1,0	4
LL≥2.000	ILL≥1,0	5
Rango	2.000	

Figura 69. Rango de valores de humedad. Fuente: (FOPAE, 2014).

Por tanto, el índice de humedad del terreno LL en escala homologada de 0 a 1 será:

$$ILL = \left(\frac{1}{2000}\right) * LL, \text{ con } LL \text{ en mm}$$
$$ILL = \left(\frac{1}{2000}\right) * 2000 = 1$$

#### 1.4.10.6 Lluvia máxima en 24 horas

Uno de los factores detonantes se puede caracterizar a través de la lluvia máxima en 24 horas.

Lluvia máxima en 24 horas P24 (mm)	IP24 (Vh)	Clase
P <sub>24</sub> < 30	ILL < 0,25	1
30 ≤ P <sub>24</sub> < 60	0,25 ≤ ILL < 0,50	2
60 ≤ P <sub>24</sub> < 90	0,50 ≤ ILL < 0,75	3
90 ≤ P <sub>24</sub> < 120	0,75 ≤ ILL < 1,0	4
P <sub>24</sub> ≥ 120	ILL ≥ 1,0	5
Rango	120	

Figura 70. Lluvia máxima en 24 horas. Fuente: (FOPAE, 2014).

Por tanto, el índice de lluvia máxima en 24 horas P24 en escala homologada de 0 a 1 será:

$$IP = \left(\frac{1}{120}\right) * IP_{24}, \text{ con } P_{24} \text{ en mm}$$

$$IP = \left(\frac{1}{120}\right) * (109) = 0,908$$

#### 1.4.10.7 Sismicidad

La sismicidad en la zona se puede caracterizar a través del valor de la aceleración sísmica, considerando las características del terreno

##### 3.4.2.1. Calificación de la sismicidad en la zona. Parámetro S.

Riesgo sísmico	Tipo de material **	Valores de Aa*						
		0,00	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
S1		24	21	17	13	8	5	2
S2		12	10	8	7	4	3	1
S3		4	3	3	2	1	1	0

\*Aa: Aceleración pico efectiva  
 \*\*Tipos de materiales según el código colombiano de construcciones sismo resistentes. (A IS, 1984)  
 S1: a) Roca de cualquier característica, ya sea cristalina o lutítica que tiene una velocidad de la onda de cortante >, 750 m/s.  
 b): Perfiles conformados por suelos duros con un espesor menor de 60m, compuestos por depósitos estables de  
 S2: Perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 60m de depósitos de arcillas duras o suelos no cohesivos.  
 S3: Perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 10m, de depósitos de arcillas cuya dureza varía entre mediana a blanda; con o sin intercalación de arenas u otros suelos no cohesivos.

Figura 71. Sismicidad, parámetro S. Fuente: (FOPAE, 2014).

El valor del índice de sismicidad será entonces el siguiente, teniendo en cuenta que el rango de la Aa es de 0,30:

$$IS = \left(\frac{1}{0,30}\right) * Aa = 3,33 * Aa$$

$$IS = 3,33 * 0,28 = 0,932$$



En caso de que en la zona haya diferentes tipos de materiales se debe estimar el valor ponderado.

$$ISp = (IS_{s1} * A_{s1}) / AT + (IS_{s2} * A_{s2}) / AT + (IS_{s3} * A_{s3}) / AT$$

Siendo  $IS_{s1}$ ,  $IS_{s2}$  e  $IS_{s3}$  los índices de sismicidad de cada tipo de material,  $A_{s1}$ ,  $A_{s2}$  y  $A_{s3}$  el área en cada tipo de material y  $AT$  el área total de la cuenca o zona de estudio.

El índice de amenaza de avalanchas originadas por los materiales depositados superficialmente en las laderas se determina con la siguiente fórmula:

$$IAAL = 0,30 * ID + 0,15 * IR + 0,15 * IV + 0,05 * IP + 0,05 * ILL + 0,15 * IP24 + 0,15 * IS$$

$$IAAL = (0,30 * 0.295) + (0,15 * 0.6) + (0,15 * 0.035) + (0,05 * 2,14) + (0,05 * 0.84) + (0,15 * 0.91) + (0,15 * 0.93) = 0.60875 \rightarrow 0.61$$

Amenaza	Puntaje IAAL	Clase
Muy baja	$IAAL < 0,30$	1
Baja	$0,30 \leq IAAL < 0,40$	2
Media	$0,40 \leq IAAL < 0,60$	3
Alta	$0,60 \leq IAAL < 0,80$	4
Muy alta	$IAAL \geq 0,80$	5

Figura 72. Puntaje IAAL. Fuente: (FOPAE, 2014).

El resultado de esta simulación nos muestra que el área de estudio se encuentra en una (Amenaza ALTA), con un valor redondeado de 0,61 el cual está entre el rango de  $(0,60 \leq IAAL < 0,80)$ , siendo de clase 4.

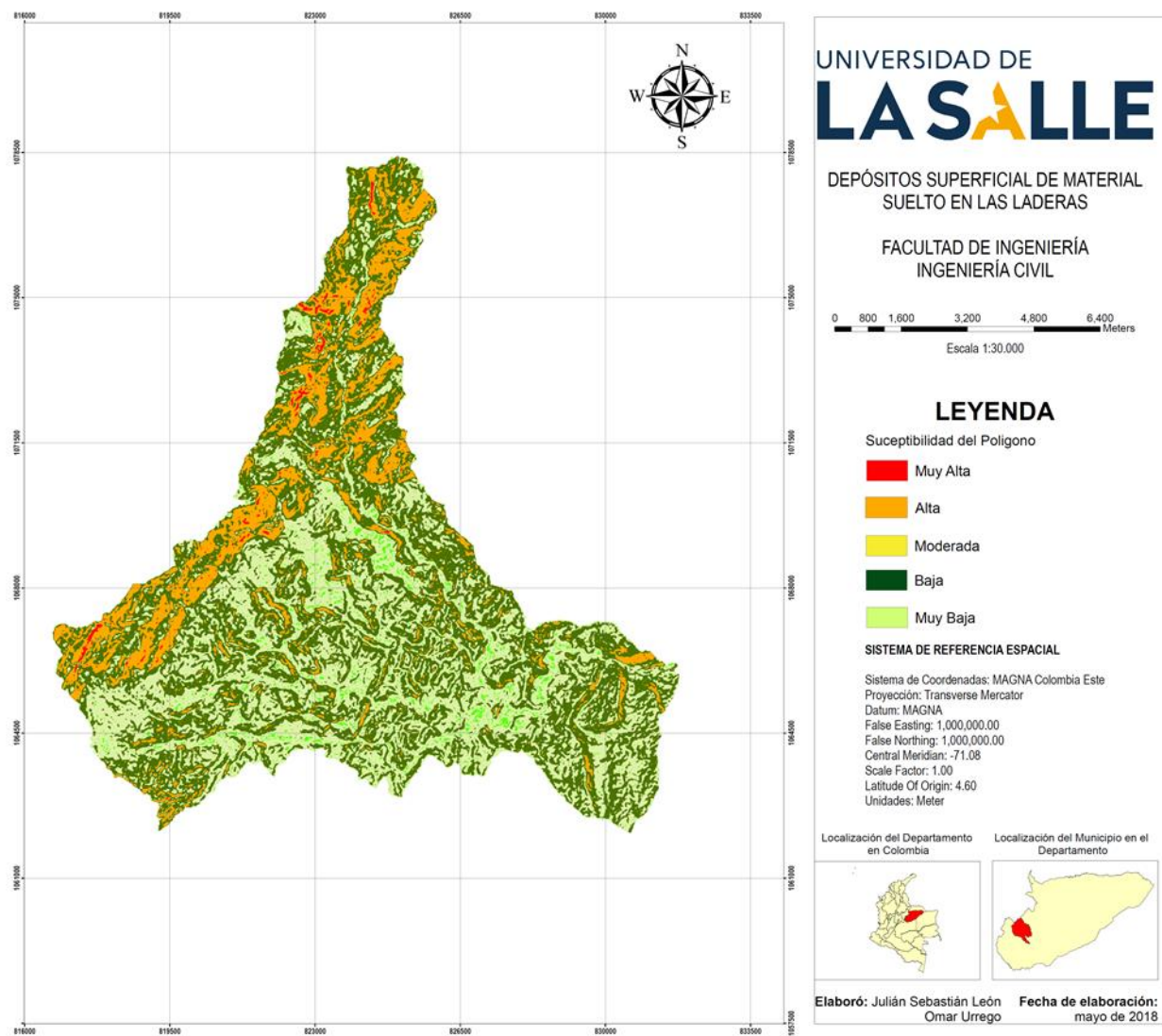


Figura 73. Modelo correspondiente al índice IAAI. Fuente: Autores.

### 1.4.11 Índice de amenaza de avalanchas originadas por la falla de las laderas asociadas a fenómenos de remoción en masa (IAALC)

Para calificar esta amenaza se consideran los siguientes factores, cada uno de los cuales posee un valor relativo.

Parámetro		Puntos	Factores	
M	Material	1 a 50	Roca	Compresión simple. Fracturamiento.
			Semiroca	Origen-residual o coluvial.
				Erodabilidad de matriz.
				Discontinuidades heredadas.
			Suelo	Origen-residual o transportado.
				Granular-Densidad.
				Fino-Consistencia.
R	Relieve	15 a 44	Posición en talud, pendiente, convexidad en	
P	Pendiente del cauce	6 a 35	Pendiente longitudinal del cauce. Valor medio.	
V	Cobertura vegetal	1 a 32	Pendiente de terreno. Tipo. % de área cubierta.	
A	Antecedentes	7 a 40	% de área con inestabilidades o fallas históricas.	
E	Erosión	2 a 35	Tipo: de laminar a cárcavas. % del área erodada.	
H	Humedad general	8 a 40	Lluvia media anual: alta, media, baja.	
L	Lluvia máxima en 24 horas	5 a 30	Máximo de la serie de lluvias en 24 horas.	
S	Sismicidad	0 a 24	Tipo de material (S1 a S4). A/g en roca.	
<b>Puntaje</b>		<b>45 a 330</b>		

Figura 74. Parámetros, factores y puntajes. Fuente: (FOPAE, 2014)

#### 1.4.11.1 Calificación del material en laderas por sus estructuras heredadas

En la siguiente figura, encontraremos los valores correspondientes a esta calificación.

Estructuras heredadas	Densidad baja	Densidad alta
Sistemas de diaclasamiento (reellenos o no, estriados o no)	4	8
Contactos litológicos y estratificación de posicional (inherente a la roca parental)	5	10
Superficies de meteorización pronunciada (a lo largo diaclases y contactos)	5	10
Disques y otras intrusiones	2	4
Discontinuidades o disposición errática de los materiales	3	6
Antiguas superficies de deslizamientos (generalmente asociadas a una o varias de las estructuras asociadas)	6	12

Figura 75. Estructuras heredadas. Fuente: (FOPAE, 2014).

#### 1.4.11.2 Calificación del material en laderas con suelo transportado

La letra (G) representa a los suelos en los que predomina la composición granular, y la letra (F) representa a los que presentan una composición fina predominante.

Suelo transportado							
Transporte por la acción directa de la gravedad		Transporte por agentes naturales					
		Agua		Viento		Hielo	
G	F	G	F	G	F	G	F
3	4	2	3	2	3	2	3

Figura 76. Suelo transportado. Fuente: (FOPAE, 2014).

#### 1.4.11.3 Calificación del material en laderas con semiroca

Roca parental		Erodabilidad de la matriz				Influencia de las estructuras *			
		Baja	Media	Alta	Muy alta				
Materiales residuales	Ígnea	2	3	4	4	Baja	Media	Alta	Muy alta
	Metamórfica	1	2	3	4				
	Sedimentaria	1	2	3	4				
Materiales transportados	Talus o material coluvial	2	3	4	4				
Tipo 1						35	27	15	6
Tipo 2						26	20	11	5
Tipo 3						16	13	7	3
Tipo 4						8	6	3	1

Figura 77. Laderas con semiroca. Fuente: (FOPAE, 2014).

#### 1.4.11.4 Calificación del relieve de las laderas. Parámetro R(R=A+B)

Sub-Zonas	Rango de pendientes	A	Perfil	B
Interludio	0 - 1°	30	Convexo	9
Ladera con infiltración	2° - 4°	19	Rectilíneo	12
Ladera con reptación	10° - 30°	8	Cóncavo	14
Escape o ladera rectilínea	> 30°	19		
Ladera intermedia de transporte	20° - 30°	6		
Ladera coluvial	5° - 20°	6		
Aluviones	0 - 4°	21		
Ladera de cauce	> 40°	6		

Figura 78. Relieve de las laderas. Fuente: (FOPAE, 2014).

La zona tiene un gran porcentaje de ladera de cauce, en donde la pendiente que se evidencia es mayor a los 40°.

#### 1.4.11.5 Calificación de la pendiente del cauce. Parámetro P.

Pendiente promedio de cauces	Densidad de drenaje		
	Baja	Media	Alta
Baja (0° - 5°)	35	30	23
Media (5° - 15°)	25	19	13
Alta (> 15°)	16	10	6

Figura 79. Pendiente cauce. Fuente: (FOPAE, 2014).

Para este numeral se tiene en cuenta la densidad de drenaje de la subcuenca de estudio, para ello, se tiene el área de la subcuenca y la sumatoria de longitudes de los brazos que la componen; el área es de 89.4 km<sup>2</sup> y la sumatoria de las longitudes es de 49.63 km. La densidad de drenaje es la relación entre la longitud y el área de la subcuenca, y nos da como resultado 0.56 km/km<sup>2</sup>, es una cuenca con una densidad de drenaje media.

#### 1.4.11.6 Calificación de la cobertura vegetal. Parámetro V.

Pendiente		0° - 20°			20° - 45°			> 45°		
% área cubierta	Tipo de vegetación	0 - 30%	30 - 50%	> 50%	0 - 30%	30 - 50%	> 50%	0 - 30%	30 - 50%	> 50%
	Bosque nativo, secundario, rastrojo alto.	12	22	32	10	17	25	8	13	19
	Rastrojo bajo, cultivos permanentes o semipermanentes.	10	18	27	7	12	17	3	5	7
	Pastos o vegetación herbácea	10	17	25	6	10	14	2	4	6
	Cultivos limpios o desmonte.	8	14	20	3	6	8	1	2	3

Figura 80. Cobertura vegetal. Fuente: (FOPAE, 2014).

1.4.11.7 Calificación de los antecedentes de fallas. Parámetro F.

% de área directamente asociada con evidencias de fenómenos antiguos de inestabilidad	0 – 10%	10 – 30%	30 – 60%	>60%
F	40	28	18	7

Figura 81. Antecedentes de falla. Fuente: (FOPAE, 2014).

1.4.11.8 Calificación de la erosión en las laderas. Parámetro E.

% de área afectada	Tipo de erosión	Leve 0-10%	Modera 10-30%	Severa 30-60%	Muy severa >60%
	Laminar	35	21	14	5
	Diferencial	22	15	10	4
	Concentrada	15	11	7	3
	Por socavación	11	8	5	2

Figura 82. Erosión en las laderas. Fuente: (FOPAE, 2014).

1.4.11.9 Calificación de la humedad general en las laderas. Parámetro C.

PMA	Baja	Media	Alta
C	40	19	8

Figura 83. Humedad general. Fuente: (FOPAE, 2014).

1.4.11.10 Calificación de la lluvia máxima en 24 horas. Parámetro L.

Lluvia máxima en 24 horas (mm)	Valor
Menor a 30	30
30 a 60	24
60 a 90	17
90 a 120	11
Mayor a 120	5

Figura 84. Lluvia máxima en 24 horas. Fuente: (FOPAE, 2014).

#### 1.4.11.11 Clasificación de la sismicidad en la zona. Parámetro S.

Riesgo sísmico	Tipo de material **	Valores de Aa*						
		0,00	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
S1		24	21	17	13	8	5	2
S2		12	10	8	7	4	3	1
S3		4	3	3	2	1	1	0

\*Aa: Aceleración pico efectiva  
 \*\*Tipos de materiales según el código colombiano de construcciones sismo resistentes. (A IS, 1984)  
 S1: a) Roca de cualquier característica, ya sea cristalina o lutítica que tiene una velocidad de la onda de cortante >, 750 m/s.  
 b) Perfiles conformados por suelos duros con un espesor menor de 60m, compuestos por depósitos estables de  
 S2: Perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 60m de depósitos de arcillas duras o suelos no cohesivos.  
 S3: Perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 10m, de depósitos de arcillas cuya dureza varía entre mediana a blanda; con o sin intercalación de arenas u otros suelos no cohesivos.

Figura 85. Sismicidad en la zona. Fuente]: (FOPAE, 2014).

#### 1.4.11.12 Puntaje Total

La siguiente figura mostrara el resumen de los puntajes obtenidos en la clasificación.

Parámetro		Puntaje máx	Puntaje mín	Puntaje
M	Material	50	1	12
R	Relieve	44	15	6
P	Pendiente del cauce	35	6	10
V	Cobertura vegetal	32	1	6
A	Antecedentes	40	7	18
E	Erosión	35	2	5
H	Humedad general	40	8	19
L	Lluvia máxima en 24 horas	30	5	5
S	Sismicidad	24	0	1
<b>PUNTAJE TOTAL</b>		<b>330</b>	<b>45</b>	<b>82</b>

Figura 86. Tabla de puntaje total. Fuente: (FOPAE, 2014).

#### 1.4.11.13 Ecuación para determinar el índice de amenaza de avalanchas originadas por la falla de las laderas asociadas a fenómenos de remoción en masa (IAALC)

La siguiente ecuación es la representación del índice IAALC en unidades de la escala original.

$$IAACL = M + R + P + V + A + E + H + L + S$$

Las variables de la ecuación son las explicadas en los procesos anteriores, en donde por medio de puntajes se proporciona una calificación a la zona y se categoriza en el rango de amenaza que muestra la siguiente figura.

Amenaza	Puntaje IAALC	Clase
Muy baja	>185	1
Baja	150 – 185	2
Media	100 – 150	3
Alta	55 – 100	4
Muy alta	<55	5

*Figura 87. Puntaje IAALC. Fuente: (FOPAE, 2014).*

Hecho todo lo anterior, se determina que para nuestra zona de estudio, el índice de amenaza avalanchas originadas por la falla de las laderas asociadas a fenómenos de remoción en masa (IAALC), es ALTA (55 – 100).



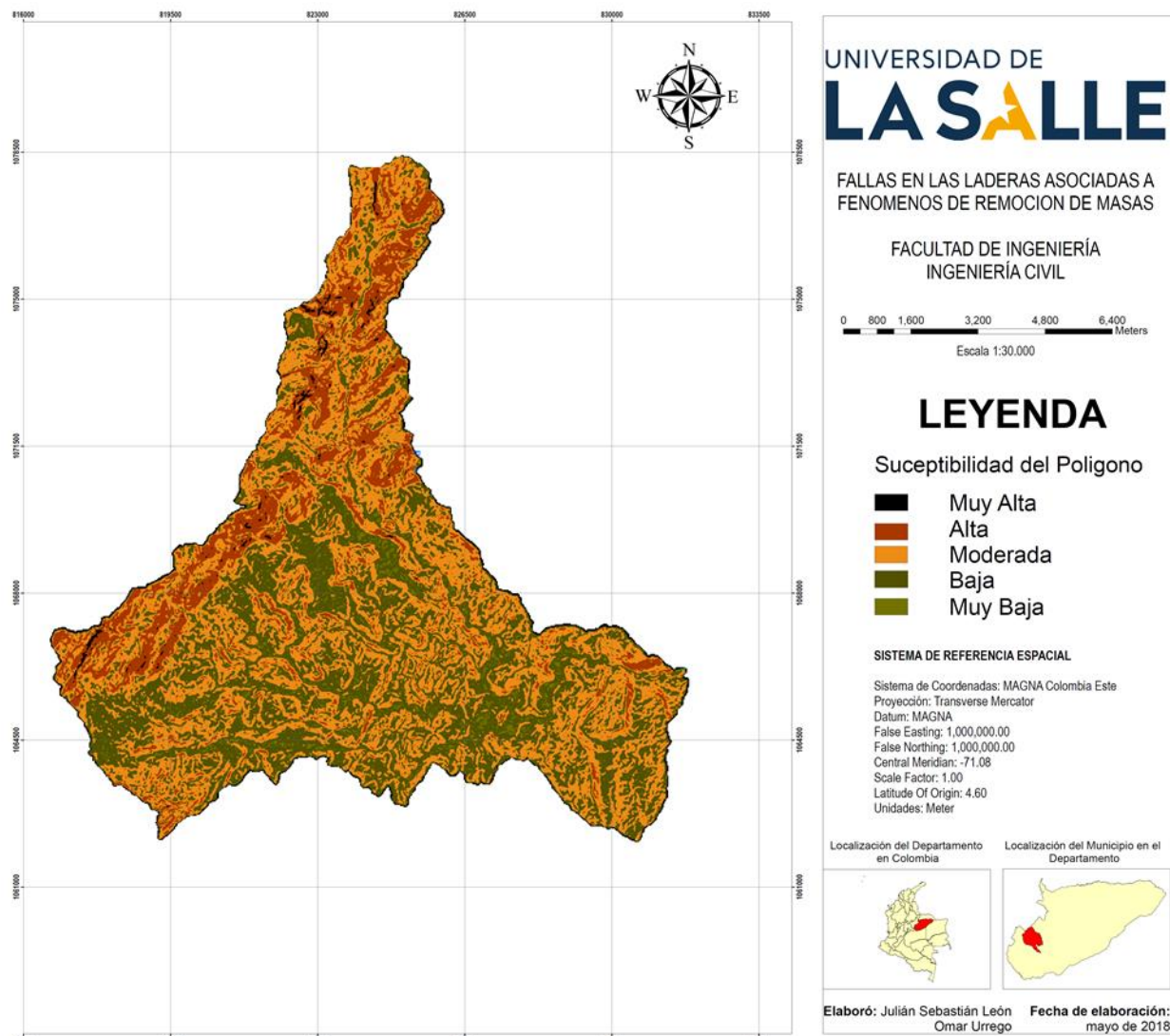


Figura 88. Modelo correspondiente al índice IAALC. Fuente: Autores.

#### 1.4.12 Índice de amenaza de avalanchas originadas por los materiales depositados en el cauce (IAAC)

Para calificar esta amenaza se consideran los siguientes cuatro factores:

1. Cantidad de material depositado en el cauce;
2. Pendiente longitudinal del cauce;
3. Lluvia máxima en 24 horas;
4. Sismicidad.

##### 1.4.12.1 Cantidad de material depositado en el cauce

La cantidad de material depositado en las laderas se caracteriza a través del volumen de material superficial por unidad de área.

Depósitos D en m <sup>3</sup>	ID (Vh)	Clase
D < 1,0	ID < 0,13	1
1,0 ≤ D < 2,5	0,13 ≤ ID < 0,33	2
2,5 ≤ D < 5,0	0,33 ≤ ID < 0,66	3
5,0 ≤ D < 7,5	0,66 ≤ ID < 1,0	4
D ≥ 7,5	ID ≥ 1,0	5
Rango	7,5	

Figura 89. Cantidad de material depositado en el cauce. Fuente: (FOPAE, 2014).

$$ID = \left(\frac{1}{1000000}\right) * D, \text{ con } D \text{ en } m^3.$$

$$D = (98410 * 3) = 295230m^3$$

$$ID = \left(\frac{1}{1000000}\right) * (295230m^3) = 0,295$$

#### 1.4.12.2 Pendiente longitudinal crítica del cauce. Según Zimmerman et al (1997)

$$SC = 0.32A^{-0.20}$$

Donde Sc es la pendiente crítica longitudinal del cauce, A el área de la cuenca hasta la estación y S es la pendiente longitudinal medida. La relación inversa entre Sc y A indica que, a mayor pendiente del cauce, será necesario un caudal líquido menor para desencadenar el flujo torrencial. Si la pendiente medida es superior, la amenaza es alta y si es menor, la amenaza es baja. En el siguiente cuadro IP es el índice de pendiente, en valores homogeneizados (Vh).

Relación S/SC	IP ( $Vh^{29}$ )	Clase
$S/Sc < 0,50$	$IP < 0,33$	1
$0,50 \leq S/Sc < 0,75$	$0,33 \leq IP < 0,50$	2
$0,75 \leq S/Sc < 1,00$	$0,50 \leq IP < 0,66$	3
$1,00 \leq S/Sc < 1,50$	$0,66 \leq IP < 1,00$	4
$S/Sc \geq 1,50$	$IP \geq 1,00$	5
Rango	1,5	

Figura 90. Valores de relación S/SC. Fuente: (FOPAE, 2014).

$$IP = \left(\frac{1}{120}\right) * IP_{24}, \text{ con } P_{24} \text{ en mm}$$

$$IP = \left(\frac{1}{120}\right) * (109) = 0,908$$

#### 1.4.12.3 Lluvia media multianual

La humedad general del terreno se puede caracterizar a través del valor de la lluvia media multianual.

Lluvia media multianual LL (mm)	ILL (Vh)	Clase
LL<700	ILL < 0,35	1
700 ≤ LL < 1000	0,35 ≤ ILL < 0,50	2
1000 ≤ LL < 1500	0,50 ≤ ILL < 0,75	3
1500 ≤ LL < 2000	0,75 ≤ ILL < 1,0	4
LL ≥ 2000	ILL ≥ 1,0	5
Rango	2000	

Figura 91. Lluvia media anual. Fuente: (FOPAE, 2014).

$$ILL = \left(\frac{1}{2000}\right) * LL, \text{ con LL en mm}$$

$$ILL = \left(\frac{1}{2000}\right) * 1680 = 0,84$$

#### 1.4.12.4 Sismicidad

La sismicidad se puede caracterizar a través del valor de la aceleración sísmica, considerando las características del terreno.

Riesgo sísmico	Tipo de material **	Valores de Aa*						
		0,00	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
S1		24	21	17	13	8	5	2
S2		12	10	8	7	4	3	1
S3		4	3	3	2	1	1	0

\*Aa: Aceleración pico efectiva  
 \*\*Tipos de materiales según el código colombiano de construcciones sismo resistentes. (A IS, 1984)  
 S1: a) Roca de cualquier característica, ya sea cristalina o lutítica que tiene una velocidad de la onda de cortante >, 750 m/s.  
 b): Perfiles conformados por suelos duros con un espesor menor de 60m, compuestos por depósitos estables de  
 S2: Perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 60m de depósitos de arcillas duras o suelos no cohesivos.  
 S3: Perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 10m, de depósitos de arcillas cuya dureza varía entre mediana a blanda; con o sin intercalación de arenas u otros suelos no cohesivos.

Figura 92. Sismicidad de la zona. Fuente: (FOPAE, 2014).

$$IS = \left(\frac{1}{0,30}\right) * Aa = 3,33 * Aa$$

$$IS = 3,33 * 0,28 = 0,932$$

El índice de amenaza de avalanchas originadas por los materiales depositados en el cauce se determina con la siguiente fórmula:

$$IAAC = 0,5 * ID + 0,20 * IP + 0,15 * ILL + 0,15 * IS$$

$$IAAC = (0,5 * 0,68) + (0,20 * 0,67) + (0,15 * 0,84) + (0,15 * 0,93) = 0,7395$$

En la tabla siguiente se muestra el descriptor para el Índice de amenaza de avalanchas originadas en materiales depositadas en el cauce (IAAC).

Amenaza	Puntaje IAAC	Clase
Muy baja	IAAC < 0,30	1
Baja	0,30 ≤ IAAC < 0,40	2
Media	0,40 ≤ IAAC < 0,60	3
Alta	0,60 ≤ IAAC < 0,80	4
Muy alta	IAAC ≥ 0,80	5

*Figura 93. Puntaje IAAC. Fuente: (FOPAE, 2014).*

El resultado de esta simulación nos muestra que el área de estudio se encuentra en una (Amenaza ALTA), con un valor redondeado de 0,74 el cual está entre el rango de (0,60 ≤ ISAD < 0,80), siendo de clase 4.

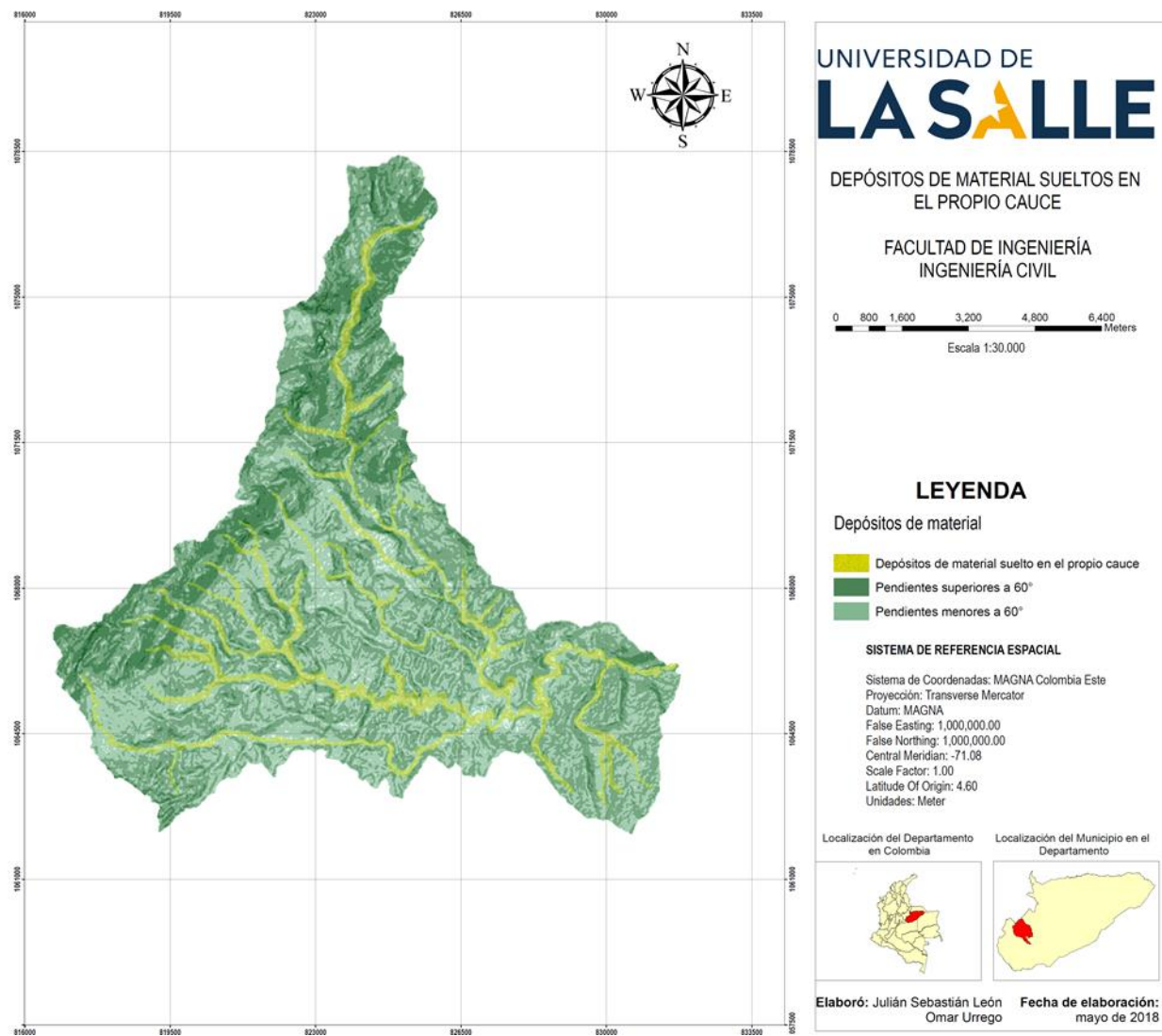


Figura 94. Modelo correspondiente al índice IAAC. Fuente: Autores.

## **Discusión de resultados**

En cuanto a la exploración de campo, la cual abarca la toma de muestras o realización de apiques en los respectivos puntos referenciados anteriormente, se tuvieron dificultades de acceso debido a factores externos, las vías no estaban en una condición transitable, igualmente se presentaron cerramientos de vías las cuales están marcadas en el mapa que se utilizó como guía, ya que el cerramiento se debe a una refinería la cual tenía prohibido el acceso al público, y el factor principal por el cual no se pudo llegar hasta algunos puntos marcados en donde se tenían previstos apiques fue por el orden público, ya que había presencia del grupo armado Ejército de Liberación Nacional (ELN) en el área Noroccidental del área de estudio, y se nos fue notificado por habitantes del sector que la presencia de ellos hacia esa zona estaba muy alta, por precaución y seguridad marcamos unos límites y unas vías diferentes de acceso a lo más cercano posible de los puntos que se habían propuesto con anterioridad como solución.

Los ensayos practicados en el laboratorio fueron un complemento para la caracterización del material, y así poder confirmar que los resultados obtenidos estaban dentro de un rango de credibilidad alto; se determinó que, en la zona de estudio predominan las arenas arcillosas y limos, hay lugares en donde nos encontramos con material orgánico, sin embargo, en las laderas de los cauces, lugar en donde se tomaron los apiques, predominan los limos arcillosos.

Encontramos 4 tipos de materiales una vez realizada la caracterización SUCS; esta se llevó a cabo con los resultados de laboratorio obtenidos en los parámetros de granulometría e índices; nos encontramos con arenas limosas, arenas arcillosas, limos inorgánicos y arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad. Haciendo un ponderado de los valores obtenidos del laboratorio de humedad, podemos ver que las muestras tienen un porcentaje medio alto de este parámetro, y haciendo un foco en los apiques 5, 6 y 7 en la figura 25 vemos un porcentaje mayor

que los rangos anteriores, estos valores hacen referencia a una visible inestabilidad del talud, en presencia de abundante lluvia se podría dar el proceso de licuefacción y conllevaría a la falla del mismo.

En la zona de estudio, tenemos sectores de baja plasticidad, como lo es el sitio de los apiques 1, 2 y 3, al norte del área delimitada; los demás sectores que abarcan el área de estudio entran en el rango media-alta plasticidad, igualmente tenemos presencia de materiales no líquidos y no plásticos en dichos sectores, sin embargo, predomina el material de media-alta plasticidad ya que en la zona predominan los materiales con contenido de arcilla. Con los valores de gravedad específica obtenidos, confirmamos los tipos de material, ya que los resultados fueron valores muy similares a los valores comunes de gravedad específica para los tipos de suelo, los cuales son: inorgánico y orgánico. El ensayo de corte directo, para determinar la cohesión y ángulo de fricción del material fue un complemento para la confirmación de los materiales, debido a que según su ángulo de fricción podemos clasificar y comparar el tipo de material y su resistencia a los deslizamientos. Se presentan valores de ángulo de fricción muy bajos en los apiques 1, 6 y 10, la inestabilidad en esa zona es alta, ya que las partículas que componen los materiales no generan la suficiente interacción para proveer mayor estabilidad al derrumbe o deslizamiento.

En cuanto a las modelaciones, la modelación del apéndice A, en donde analizamos el índice de amenaza de avalanchas originadas por materiales depositados superficialmente en las laderas (IAAL), podemos decir que el resultado obtenido se dio debido primeramente a la importancia que se le dio a cada variable manifestada en un porcentaje en la ecuación que determino este índice, dando un porcentaje de importancia del 30% a la cantidad de material depositado ya que tiene una gran influencia al momento de originarse una avalancha y debido al



suelo predominante en el área de estudio se manifiesta una facilidad de arrastre de material suelto, combinándolo con la siguiente variable con un porcentaje del 15% se observa que la inclinación en las laderas en la parte Noroccidental en las partes más inclinadas supera el 60% en promedio con una variación de inclinación del 20% al 40% en la parte Suroriental debido al cambio de relieve que se presenta debido a que es el piedemonte llanero que a su vez al momento de generarse una avalancha puede generar una gran afectación por la forma del mismo relieve generando que el arrastre de los materiales presentes en la zona Nororiental lleguen con gran fuerza a la parte Suroriental por dichas variables.

Una variable que potencializa los movimientos originados por los materiales depositados superficialmente en las laderas, es la cobertura vegetal, debido a que se observa que en el área de estudio tan solo el porcentaje de Bosques es de 29,45%, la afectación del hombre es notable al ver que el porcentaje de pastos es del 24.60% y agrícola 29.35%, para un total del 53.95% más de la mitad de la Cobertura vegetal añadiendo las áreas que no tienen vegetación con un porcentaje del 16,60%, las cuales suman 70.55% de cobertura vegetal que potencia los movimientos de los materiales depositados superficialmente en las laderas respecto al 29,45% de bosques mencionado anteriormente, así mismo se tiene en cuenta la pendiente longitudinal del cauce la cual tiene una relación inversa entre la pendiente crítica del cauce ( $S_c$ ) y el área de estudio ( $A$ ) donde indica que, a mayor pendiente del cauce, será necesario un caudal líquido menor para desencadenar el flujo torrencial. Si la pendiente medida es superior, la amenaza es alta y si es menor, la amenaza es baja teniendo una pendiente del cauce principal del 2% y una pendiente crítica de 0.032% dichos datos elaborados por dos métodos el primero de acuerdo a la metodología del FOPAE y la segunda con ayuda de herramientas del programa ArcGIS, dichos

resultados son similares debido a que la cantidad y el sentido flujo entrega en un mismo punto regido por las mismas características de la cuenca.

Con apoyo de datos suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) se identifica que la humedad general del terreno es variable de acuerdo a las zonas donde se presentan las lluvias, esta se puede caracterizar a través del valor de la lluvia media multianual obteniendo un rango de  $ILL < 0,35$  siendo clase 1, siendo el registro de 272.3 mm/h bajo para el rango base presente de 700 mm/h generando un valor de lluvia media multianual de 0.136 lo que significa un cambio notable en las propiedades de los suelos debido a el flujo superficial y subsuperficial del agua, y los cambios de temperatura provocando muchas formas de inestabilidad potenciados al presentarse la siguiente variable.

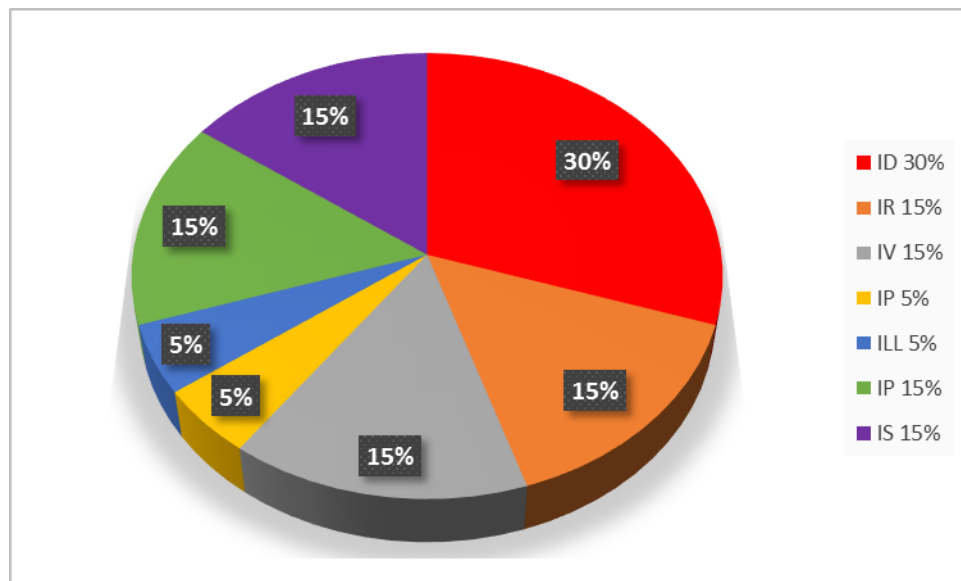
Uno de los factores detonantes se puede caracterizar a través de la lluvia máxima en 24 horas, la cual puede tener dos tipos de lluvias detonantes en las cuales se puede manifestar una lluvia corta de alta intensidad o una lluvia prolongada de baja intensidad, ambas alcanzando una misma energía en el punto crítico de energía de impacto al suelo y acumulación de agua, en el área de estudio se observa que los registros superan los 120 mm/h a excepción de las estaciones Toquilla y Corinto estos registros se encuentran en el rango de  $ILL \geq 1,0$  para una clase 5.

Por último se encuentra otro factor detonante que es la sismicidad, en el área de estudio se puede caracterizar a través del valor de la aceleración horizontal pico efectiva ( $A_a$ ), las cuales se identificaron con el apoyo de datos obtenidos por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), considerando las características del terreno siendo el área de estudio piedemonte llanero, se observa que se encuentran diferentes aceleraciones pico efectivas manejando un rango de 0.30 a 0.35 tomando 0,35 como la aceleración horizontal pico efectiva predominante en el área de estudio, siendo este un valor considerable al momento de un eventual sismo, ya que las cargas

dinámicas incrementan los esfuerzos de corte, provocando muchos tipos de deslizamientos, o reduciendo la resistencia de los suelos.

El resultado de esta simulación nos muestra que el área de estudio se encuentra en una (Amenaza ALTA), con un valor redondeado de 0,73 el cual está entre el rango de  $(0,60 \leq \text{IAAL} < 0,80)$ , siendo de clase 4.

En la siguiente figura, se relacionan las variables y porcentaje de importancia para poder determinar el índice A (índice de amenaza de avalanchas originadas por los materiales depositados superficialmente en las laderas (IAAL)).



*Figura 95. Variables y porcentajes de importancia para determinar el (IAAL). Fuente: Propia.*

En el apéndice B, en donde hacemos referencia a las avalanchas por falla de las laderas, los valores obtenidos se catalogaron más por medio visual, a excepción de unos que se comparten entre los apéndices A, B y C, como los son valores de lluvia máxima en 24 horas y lo referente a pendientes. Hecha la clasificación del apéndice B, en donde se tienen variables de relieve, pendiente, antecedentes de falla, cobertura vegetal, erosión evidenciada en los cauces y sismicidad, el valor obtenido fue de 82, valor que cataloga a la zona en amenaza alta, igual que el

apéndice A; en la campaña exploratoria se evidencio erosión por socavación en los cauces de estudio a donde se tuvo acceso, y con apoyo de los ensayos de laboratorio, se determinaron variables como la humedad. Por medio de los modelos se ve un claro riesgo; observando las pendientes que componen el área de estudio y el drenaje, la susceptibilidad se puede determinar por medio de la observación y la deducción, y se llegaría a la misma conclusión de que el municipio de Aguazul Casanare es altamente susceptible a una avalancha por falla en sus laderas.

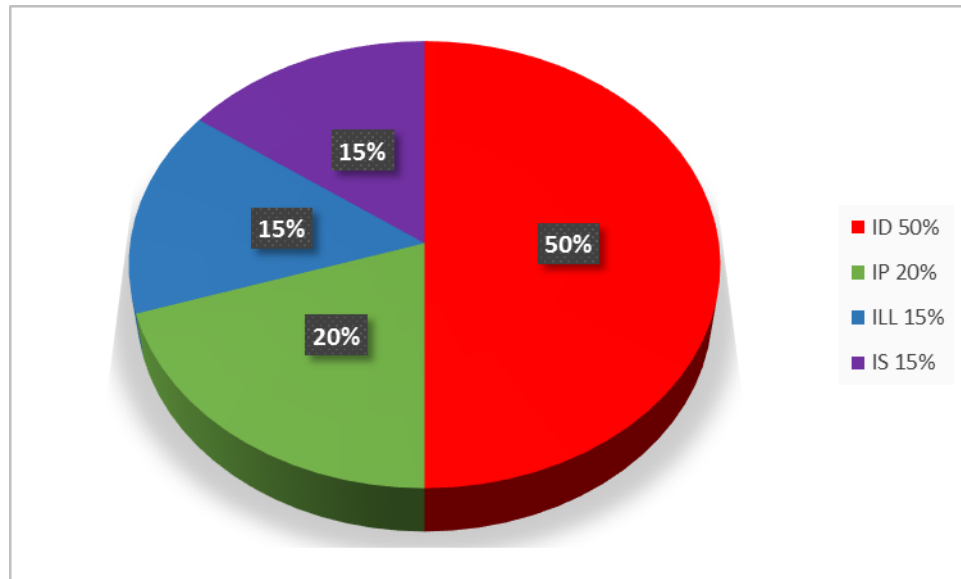
Por último, en el apéndice C, el cual hace referencia al índice de amenaza de avalanchas originadas por los materiales depositados en el cauce (IAAC), se identifica que el resultado de esta simulación muestra que el área de estudio se encuentra en una amenaza MUY ALTA, con un valor redondeado de 0,87 el cual está entre el rango de ( $IAAC > 0,80$ ), siendo de clase 5. El resultado obtenido se dio debido primeramente a la importancia que se le dio a cada variable manifestada en un porcentaje en la ecuación que determino este índice, dando un porcentaje de importancia del 50% a la cantidad de material depositado en el cauce, para determinar el volumen de sedimentos se tomó un área de ronda de río de 100 metros y una profundidad de 3 metros de acuerdo a registros tomados por el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) del Servicio Geológico Colombiano (SGC), estos materiales tienen una gran influencia al momento de originarse una avalancha debido a las afectaciones que se pueden presentar a continuación, pérdidas de cohesión debido a las fuerzas de filtración, incremento en la descomposición de las rocas y desleimiento de las rocas lodosas, expansión y contracción térmica, cambios volumétricos que inducen la fisuración y el agrietamiento de las rocas lodosas y otras rocas arcillosas, saturación y colapso estructural, todo esto ayudando una facilidad de arrastre de material suelto.

Esto combinándolo con la siguiente variable con un porcentaje del 20% se tiene en cuenta la pendiente longitudinal del cauce, ya que tiene una relación inversa entre la pendiente crítica del cauce ( $Sc$ ) y el área de estudio ( $A$ ) donde indica que, a mayor pendiente del cauce, será necesario un caudal líquido menor para desencadenar el flujo torrencial. Si la pendiente medida es superior, la amenaza es alta y si es menor, la amenaza es baja teniendo una pendiente del cauce principal del 2% y una pendiente crítica de 0.032% dichos datos elaborados por dos métodos el primero de acuerdo a la metodología del FOPAE y la segunda con ayuda de herramientas del programa ArcGIS, dichos resultados son similares debido a que la cantidad y el sentido flujo entrega en un mismo punto regido por las mismas características de la cuenca.

Uno de los factores detonantes se puede caracterizar a través de la lluvia máxima en 24 horas teniendo una participación del 15%, puede tener dos tipos de lluvias detonantes en las cuales se puede manifestar una lluvia corta de alta intensidad o una lluvia prolongada de baja intensidad, ambas alcanzando una misma energía en el punto crítico de energía de impacto al suelo y acumulación de agua, en el área de estudio se observa que los registros superan los 120 mm/h a excepción de las estaciones Toquilla y Corinto estos registros se encuentran en el rango de  $ILL \geq 1,0$  para una clase 5.

Por último se encuentra otro factor detonante que es la sismicidad teniendo una participación de 15%, en el área de estudio se puede caracterizar a través del valor de la aceleración horizontal pico efectiva ( $Aa$ ), las cuales se identificaron con el apoyo de datos obtenidos por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), considerando las características del terreno siendo el área de estudio piedemonte llanero, se observa que se encuentran diferentes aceleraciones pico efectivas manejando un rango de 0.30 a 0.35 tomando 0,35 como la aceleración horizontal pico efectiva predominante en el área de estudio, siendo este un valor

considerable al momento de un eventual sismo, ya que las cargas dinámicas incrementan los esfuerzos de corte, provocando muchos tipos de deslizamientos, o reduciendo la resistencia de los suelos.



*Figura 96. Variables y porcentajes de importancia para determinar el (IAAC). Fuente: Propia.*

Variables y porcentajes de importancia para determinar el (IAAL). Fuente: Propia.

El resultado de esta simulación nos muestra que el área de estudio se encuentra en una (Amenaza MUY ALTA), con un valor redondeado de 0,87 el cual está entre el rango de (IAAC >0,80), siendo de clase 5.

## Conclusiones

Los resultados de esta investigación muestran que el área de estudio es susceptible al fenómeno de remoción en masa planteado para este proyecto, siendo el tipo de material presente en la superficie de la ladera y fallas en la misma ladera, elementos fácilmente transportables debido a otros factores como lo son, la pendiente pronunciada en el área de estudio, la afectación del ser humano en las laderas al generar deforestación, sumado a esto el área de terreno donde no hay cobertura vegetal y limitando el área de bosques a 28,4% sobre el área de estudio, la relación existente entre la pendiente longitudinal critica del cauce que es variable de acuerdo a su medida la cual si es alta la amenaza es alta y si es baja su amenaza es baja, así mismo se tienen presente dos variables que son detonantes al momento de generarse una avalancha como lo son las lluvias críticas y la sismicidad de la zona la cual es muy variable debido a que el área de estudio se encuentra sobre un pie de monte donde se manifiesta el cambio de relieve en una forma pronunciada.

Los mapas generados fueron de acuerdo a los 3 apéndices mencionados por la metodología del FOPAE los cuales van de acuerdo con, (A) el índice de amenaza de avalanchas originadas por los materiales depositados superficialmente en las laderas (IAAL), (B) índice de amenaza de avalanchas originadas por la falla de las laderas asociadas a fenómenos de remoción en masa (IAALC) y (C) índice de amenaza de avalanchas originadas por los materiales depositados en el cauce (IAAC), los cuales exponen claramente las zonas donde estos materiales son susceptibles al arrastre y eventualmente generar una remoción en masa.

Como se pudo observar en la ilustración anterior, con los datos de cada indicador según la metodología del FOPAE se pudo estimar la categorización de los indicadores de amenaza de avalancha en 3 partes las cuales se encuentran la amenaza alta con un 32.3% predominante en la

zona Nororiental pero con diferentes focos alrededor del área de estudio, la amenaza media tiene el mayor porcentaje distribuido alrededor de toda el área de estudio con un 46.4% pero en el momento de generarse un sismo pueden ser más alto el grado de amenaza debido a que en esta zona al momento que ocurra un deslizamiento en las partes altas puede generar un mayor riesgo de arrastre de material generando una gran avalancha ya que al presentarse un sismo la parte alta puede repercutir y tener una incidencia sobre la parte baja provocando un mayor arrastre del material por gravedad y la amenaza baja presente en las zonas más planas con un 21.3%, manifestándose claramente el tipo de relieve presente en la zona de estudio.

Los resultados de esta investigación muestran que el área de estudio es susceptible al fenómeno de remoción en masa planteado para este proyecto con una amenaza Alta, siendo el tipo de material presente en la superficie y fallas en la ladera, elementos fácilmente transportables debido a cambios constantes en la resistencia de los suelos debido a las variables mencionadas para la determinación de los indicadores de amenaza de avalancha generando inestabilidad en las laderas.

Existen combinación variables que ayudan a potenciar los deslizamientos como lo son, la pendiente pronunciada en el área de estudio con la afectación del ser humano en las laderas al generar deforestación, sumado a esto el área de terreno donde no hay cobertura vegetal y limitando el área de bosques sobre el área de estudio, así mismo la relación existente entre la pendiente longitudinal critica del cauce donde indica que, a mayor pendiente del cauce, será necesario un caudal líquido menor para desencadenar el flujo torrencial, combinado esto con dos variables que son detonantes al momento de generarse una avalancha como lo son las lluvias críticas y la sismicidad de la zona la cual es muy variable debido a que el área de estudio se



encuentra sobre un piedemonte donde se manifiesta el cambio de relieve en una forma pronunciada.

La mayoría de los deslizamientos son relativamente superficiales y traslacionales debido a que los suelos como las rocas son predominantemente friccionantes y su resistencia por lo tanto tiende a incrementarse con la profundidad proporcionalmente a la presión efectiva de la sobrecarga provocada por el movimiento, Jenson y Dominique, 1988.

Según Hutchinson (1988), los movimientos en masa son movimientos relativamente rápidos actuando bajo el efecto de la gravedad pendiente abajo transportando suelo o roca a lo largo de una o más superficies que delimitan la masa movilizada en el proceso, estos movimientos comprenden una etapa inicial de falla seguida de un recorrido, existe un problema en el sentido de que no es posible darle un peso a cada una de las dos etapas del movimiento .

Los indicadores de amenaza de avalanchas los limitamos a la física.

No se puede determinar un Factor de seguridad debido a la escala del área de estudio.

## **Recomendaciones**

Se encontró dificultad al momento de realizar los modelos en el sentido de que los valores propuestos en las ecuaciones dan muy altos ya que los rangos que se manejan en el FOPAE son para perímetros muy grandes, el área de estudio es pequeña respecto a lo que tiene proyectado el FOPAE.

El área de estudio tiene cambios muy significativos en su altimetría debido a que es pie de monte (fin de zona montañosa e inicio de llanura), con variables significativas en la Aceleración Horizontal pico efectiva, esto hace que se tenga una mayor exposición a una remoción en masa, y determinar un número para dicha aceleración se dificulta por su escala.

Se puede desarrollar un mejor modelo de elevación mediante una visualización por medio de un Dron, para identificar puntos donde ocurrieron los deslizamientos en el área de estudio.

Por parte del municipio, deberían contemplar una catástrofe de mayor magnitud para así modificar las estrategias de evacuación y de manejo frente a una emergencia de severidad ALTA a la cual están expuestos. El municipio de Aguazul está totalmente expuesto al mayor porcentaje de impacto frente a un evento como este, debido a que es el municipio inmediato en donde la zona montañosa de la cordillera Oriental termina, y empieza el piedemonte o planicie.

## **Bibliografía**

- AASHTO. (1986). Standard Specifications for transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington.
- Alzate, J. (2005). Estabilidad de taludes con aplicación en zonas húmedas tropicales. Departamento de ingeniería de minas y ambiental Universidad Tecnológica del Chocó.
- Cardona, O. (1991). Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo, Taller Regional de Capacitación para la Administración de Desastres ONAD/PNUD/OPS/UNDRO, Bogotá.
- FOPAE, (Fondo de Prevención y Atención de Emergencias). (2014). Modelos conceptuales, metodologías e insumos para la definición de los indicadores de variabilidad y cambio climático, eventos torrenciales y amenazas y vulnerabilidades de las infraestructuras de producción de agua. Producto 3. Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Fournier, E. (1985). The Quantification of Seismic Hazard for the Purposes of Risk Assessment, International Conference on Reconstruction, Restoration and Urban Planning of Towns and Regions in Seismic Prone Areas, Skopje.
- INVIAS, (Instituto Nacional de Vías). (1998). Manual de Estabilidad de Taludes. Editorial de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá.
- Novotny, J. (1978). Varnes Landslide Classification. Addis Ababa University. Ethiopian.
- Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander.

AGUILAR, V. y MENDOZA, D. Aproximación a un Modelo de Susceptibilidad a Movimientos de Masa en el Eje Cafetero Colombiano. Tesis de Grado para optar al título de Ingeniería Topográfica. Cali. Universidad del Valle. 2002.

BLANCO, M. y JIMÉNEZ, D. Evaluación de amenaza por fenómenos de remoción en masa en algunos sectores de la comuna 14 del municipio de Bucaramanga utilizando el modelo estadístico con variables locales. Tesis de grado para optar al título de Ingeniería Civil. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, 2012.

CASTELLANOS, R. Lluvias Críticas en la Evaluación de Amenazas de Eventos de Remoción en Masa. Tesis Magister en Geotecnia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil, 1996.

### **Cibergrafía**

DeCS. (12 de 02 de 2010). Descriptores en Ciencias de la Salud. Biblioteca Virtual en Salud.

Obtenido de BIREME: [http://decs.bvs.br/E/DeCS2010\\_Alfab-P.htm](http://decs.bvs.br/E/DeCS2010_Alfab-P.htm)

Estabilidad de Taludes (02 de 04 de 2017). Análisis retrospectivo del deslizamiento Barrio La Sultana. Obtenido de webnode: <http://estabilidad-de-taludes7.webnode.es/news/marco-teorico/>

IDIGER. (21 de 03 de 2017). Acerca de nosotros: Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. Obtenido de IDIGER: <http://www.idiger.gov.co/riesgo-por-movimientos-en-masa>

Observatorio Sismológico del Suroccidente (30 de 07 de 2003).Un modelo de susceptibilidad a movimientos de masa del eje cafetero, Colombia. Obtenido de osso:

<http://www.osso.org.co/docu/congresos/2003/PosterSuceptibilidad.pdf>

Salud en emergencias y desastres; deslizamientos y aluviones. Ministerio de Salud, Argentina.

Obtenido de msal: <http://www.msal.gob.ar/salud-y-desastres/index.php/riesgos-de-desastres-en-argentina/principales-amenazas/deslizamientos-y-aluviones>

Centro de Estudios Territoriales, Universidad Católica de Oriente (01 de 06 de 2014). Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa e inundaciones zona urbana,

municipio de Guarne, Antioquia. Obtenido de uco:

<http://www.uco.edu.co/extension/territoriales/Investigaciones%20y%20consultorias/Documents/AMENAZA,%20VULNERABILIDAD%20Y%20RIESGO.pdf>

JOSÉ OLMOS OLMOS, ING. CIVIL - GEOTECNISTA (01 de 12 de 2013). Estudio de amenaza y vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa, municipio La Capilla,

Boyacá. Obtenido de gestiondelriesgo:

[http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/20.500.11762/19702/13/Remosion\\_en\\_masa\\_La\\_Capilla.pdf](http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/20.500.11762/19702/13/Remosion_en_masa_La_Capilla.pdf)

OMAR DARÍO CARDONA A. (1993) Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo.

Obtenido de desenredando:

<http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm>

ALBERTO CORTEZ FARFÁN, FACULTAD DE AGRONOMÍA, UNIVERSIDAD

NACIONAL SAN LUIS GONZAGA DE ICA (15 de julio de 2010), Apuntes de clase geología agrícola. Obtenido de scribd: <https://es.scribd.com/doc/34404184/remocion-en-masa>

INVIAS. (2014). Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras. Obtenido de invias:

<https://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos1>

Pontificia Universidad Javeriana. (2017). Listado de precios pruebas y ensayos de laboratorio del Departamento de Ingeniería Civil. Obtenido de javeriana:

<http://ingenieria.javeriana.edu.co/documents/7508381/0/Lista+de+Precios+laboratorios+2017.pdf142d779-8719-4ec1-b869-c6de07ee3097>

# Anexos

**ANEXO 1.** Resultados determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas suelo - agregado. INV E – 122 - 13



### Apique 1

Humedad		
Platon No		326
Peso platon + muestra Húmeda	(g)	2369,9
Peso platon + muestra seca	(g)	2145,6
Peso platon	(g)	256,3
<b>Humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>11,9</b>

### Apique 2

Humedad		
Platon No		123
Peso platon + muestra Húmeda	(g)	972,4
Peso platon + muestra seca	(g)	896,3
Peso platon	(g)	125,3
<b>Humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>9,9</b>

### Apique 3

Humedad		
Platon No		26
Peso platon + muestra Húmeda	(g)	1563,2
Peso platon + muestra seca	(g)	1489,3
Peso platon	(g)	116,3
<b>Humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>5,4</b>

### Apique 4

Humedad		
Platon No		25
Peso platon + muestra Húmeda	(g)	356,2
Peso platon + muestra seca	(g)	325,6
Peso platon	(g)	69
<b>Humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>11,9</b>

### Apique 5

Humedad		
Platon No		365
Peso platon + muestra Húmeda	(g)	215,6
Peso platon + muestra seca	(g)	189,78
Peso platon	(g)	56,3
<b>Humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>19,3</b>

### Apique 6

Humedad		
Platon No		205
Peso platon + muestra Húmeda	(g)	315,2
Peso platon + muestra seca	(g)	274,3
Peso platon	(g)	65,6
<b>Humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>19,6</b>

### Apique 7

Humedad		
Platon No		2
Peso platon + muestra Húmeda	(g)	256,3
Peso platon + muestra seca	(g)	210,3
Peso platon	(g)	39,6
<b>Humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>26,9</b>

### Apique 8

Humedad		
Platon No		326
Peso platon + muestra Húmeda	(g)	217,6
Peso platon + muestra seca	(g)	203,2
Peso platon	(g)	40,23
<b>Humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>8,8</b>

### Apique 9

Humedad		
Platon No		20
Peso platon + muestra Húmeda	(g)	896,3
Peso platon + muestra seca	(g)	845,2
Peso platon	(g)	232,2
<b>Humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>8,3</b>

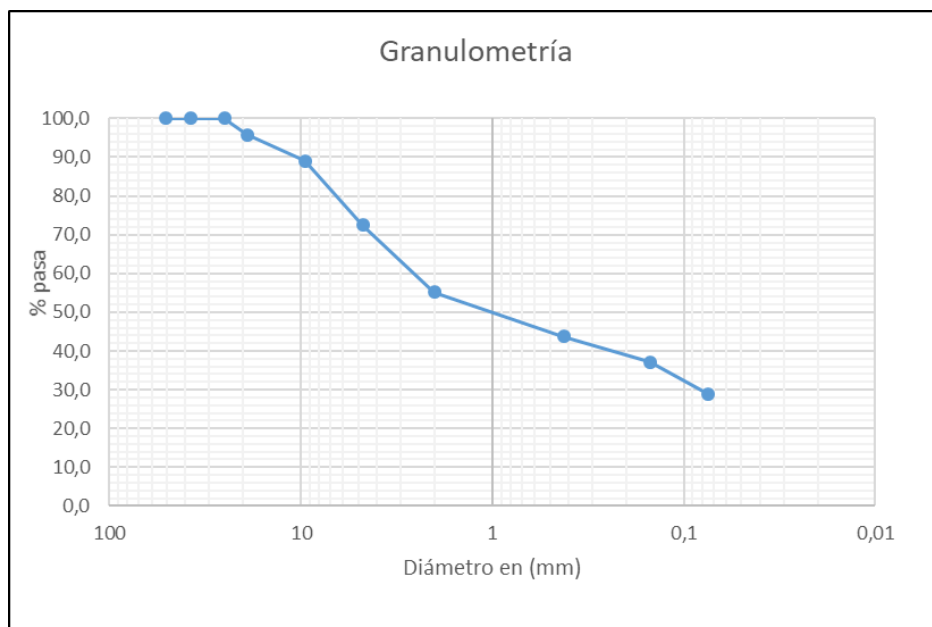
### Apique 10

Humedad		
Platon No		32R
Peso platon + muestra Húmeda	(g)	269,6
Peso platon + muestra seca	(g)	245,3
Peso platon	(g)	54,2
<b>Humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>12,7</b>

## **Anexo 2. Resultados determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. INV E – 123 – 13**

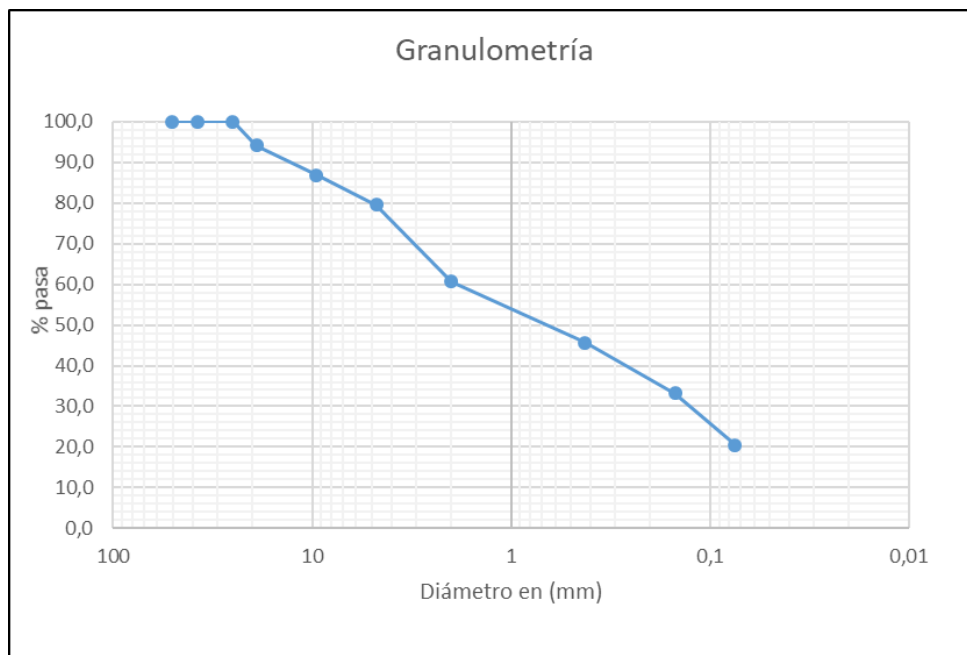
## Apique 1

Malla		Peso retenido	% retenido	% pasa
mm	Pul.			
50,8	2		0,0	100,0
37,5	1 1/2		0,0	100,0
25	1		0,0	100,0
19	3/4	78,6	4,2	95,8
9,5	3/8	129,6	6,9	89,0
4,75	N° 4	310,6	16,4	72,5
2	N°10	326,9	17,3	55,2
0,425	N°40	216,7	11,5	43,8
0,15	N° 100	125,3	6,6	37,1
0,075	N° 200	156,3	8,3	28,9



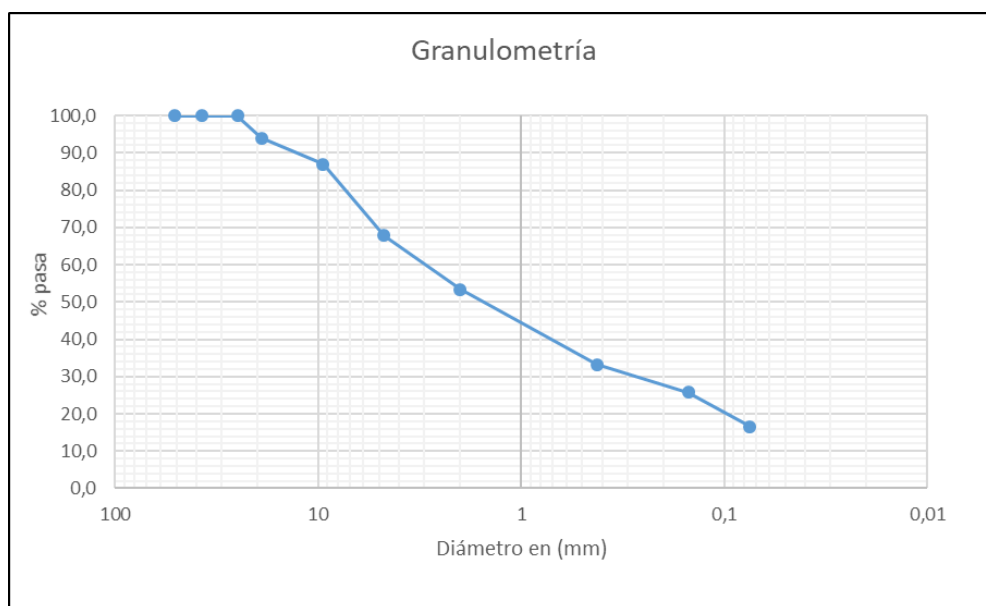
## Apique 2

Malla		Peso retenido	% retenido	% pasa
mm	Pul.			
50,8	2		0,0	100,0
37,5	1 1/2		0,0	100,0
25	1		0,0	100,0
19	3/4	45,3	5,9	94,1
9,5	3/8	56,3	7,3	86,8
4,75	N° 4	56,3	7,3	79,5
2	N°10	145,2	18,8	60,7
0,425	N°40	115,3	15,0	45,7
0,15	N° 100	96,3	12,5	33,2
0,075	N° 200	98,6	12,8	20,5



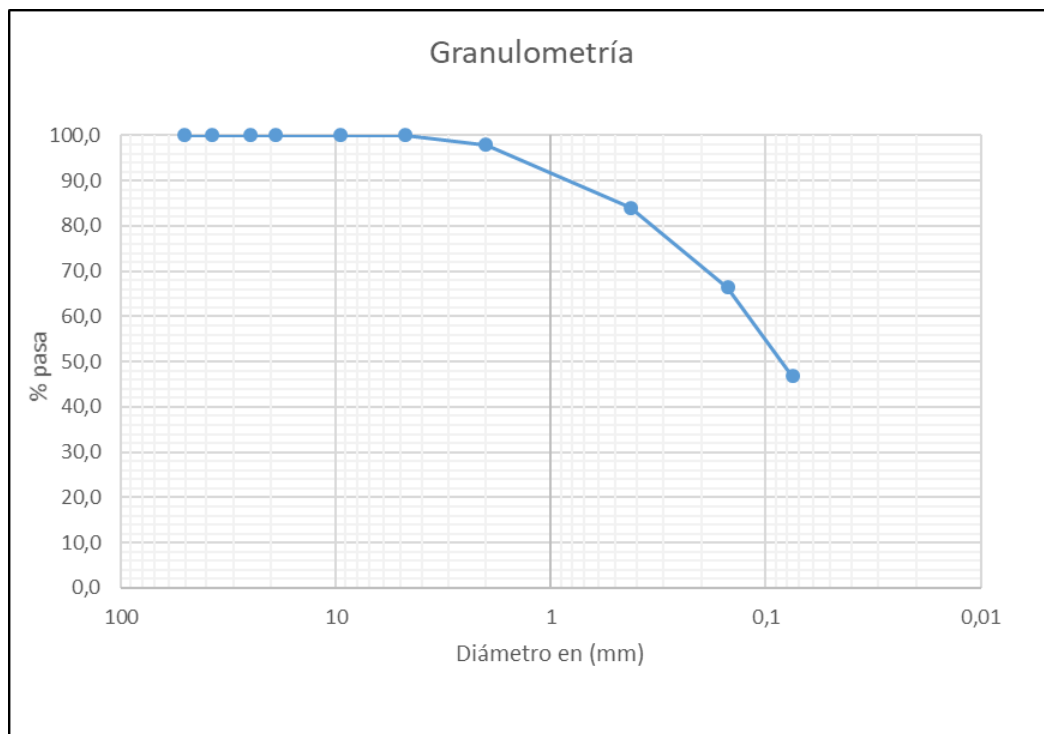
### Apique 3

Malla		Peso retenido	% retenido	% pasa
mm	Pul.			
50,8	2		0,0	100,0
37,5	1 1/2		0,0	100,0
25	1		0,0	100,0
19	3/4	82,4	6,0	94,0
9,5	3/8	96,3	7,0	87,0
4,75	N° 4	263,3	19,2	67,8
2	N°10	198,3	14,4	53,4
0,425	N°40	276,8	20,2	33,2
0,15	N° 100	102,3	7,5	25,8
0,075	N° 200	125,3	9,1	16,6



### Apique 4

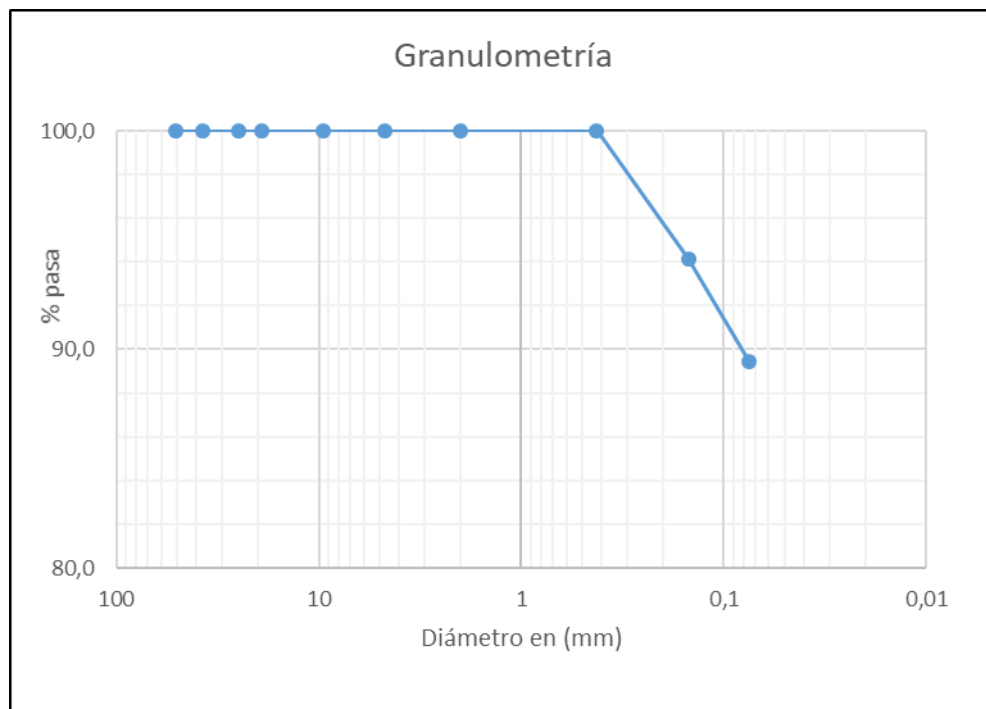
Malla		Peso retenido	% retenido	% pasa
mm	Pul.			
50,8	2		0,0	100,0
37,5	1 1/2		0,0	100,0
25	1		0,0	100,0
19	3/4		0,0	100,0
9,5	3/8		0,0	100,0
4,75	N° 4		0,0	100,0
2	N°10	5,3	2,1	97,9
0,425	N°40	35,6	13,9	84,1
0,15	N° 100	45,2	17,6	66,4
0,075	N° 200	50,47	19,7	46,8





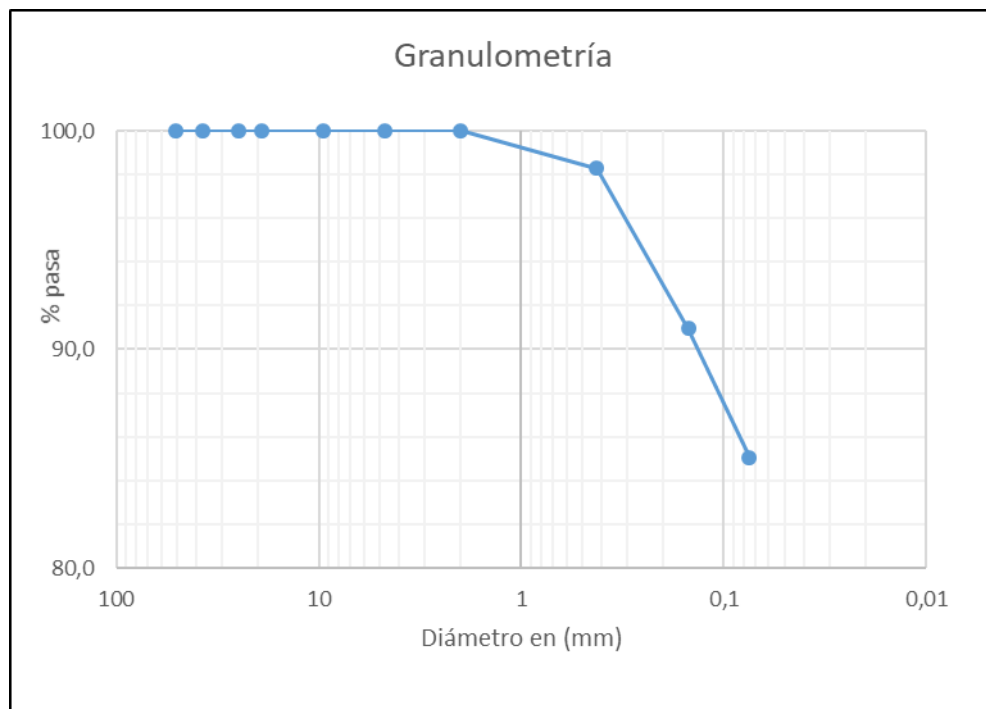
## Apique 5

Malla		Peso retenido	% retenido	% pasa
mm	Pul.			
50,8	2		0,0	100,0
37,5	1 1/2		0,0	100,0
25	1		0,0	100,0
19	3/4		0,0	100,0
9,5	3/8		0,0	100,0
4,75	N° 4		0,0	100,0
2	N°10		0,0	100,0
0,425	N°40		0,0	100,0
0,15	N° 100	7,8	5,8	94,2
0,075	N° 200	6,3	4,7	89,4



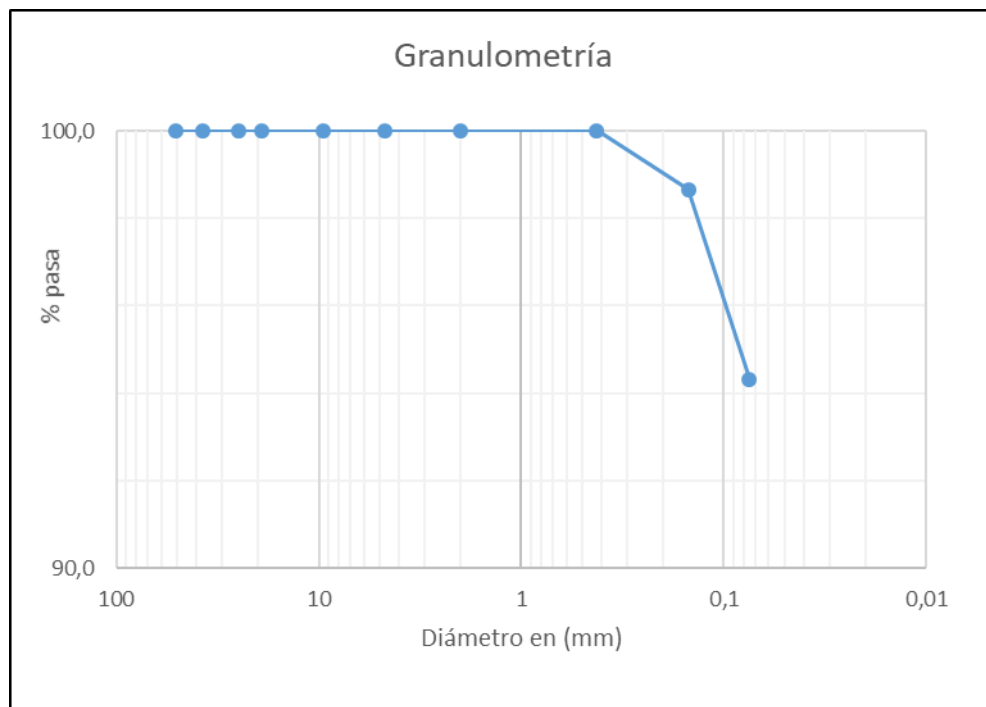
## Apique 6

Malla		Peso retenido	% retenido	% pasa
mm	Pul.			
50,8	2		0,0	100,0
37,5	1 1/2		0,0	100,0
25	1		0,0	100,0
19	3/4		0,0	100,0
9,5	3/8		0,0	100,0
4,75	N° 4		0,0	100,0
2	N°10		0,0	100,0
0,425	N°40	3,6	1,7	98,3
0,15	N° 100	15,3	7,3	90,9
0,075	N° 200	12,3	5,9	85,1



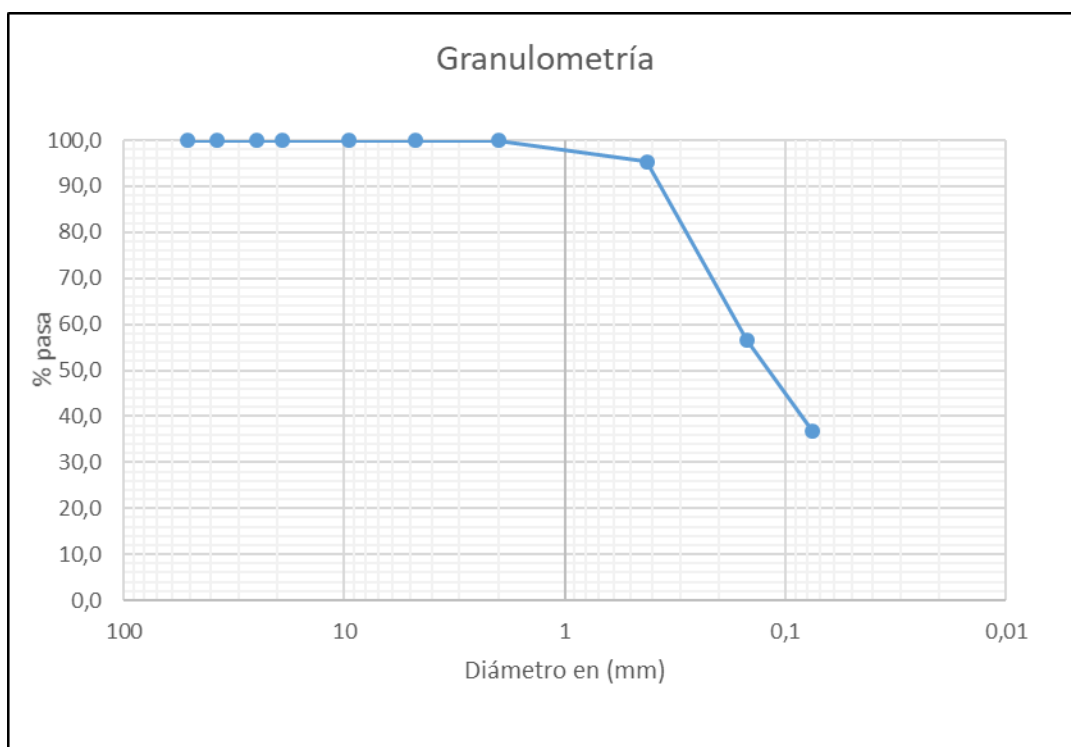
## Apique 7

Malla		Peso retenido	% retenido	% pasa
mm	Pul.			
50,8	2		0,0	100,0
37,5	1 1/2		0,0	100,0
25	1		0,0	100,0
19	3/4		0,0	100,0
9,5	3/8		0,0	100,0
4,75	N° 4		0,0	100,0
2	N°10		0,0	100,0
0,425	N°40		0,0	100,0
0,15	N° 100	2,3	1,3	98,7
0,075	N° 200	7,4	4,3	94,3



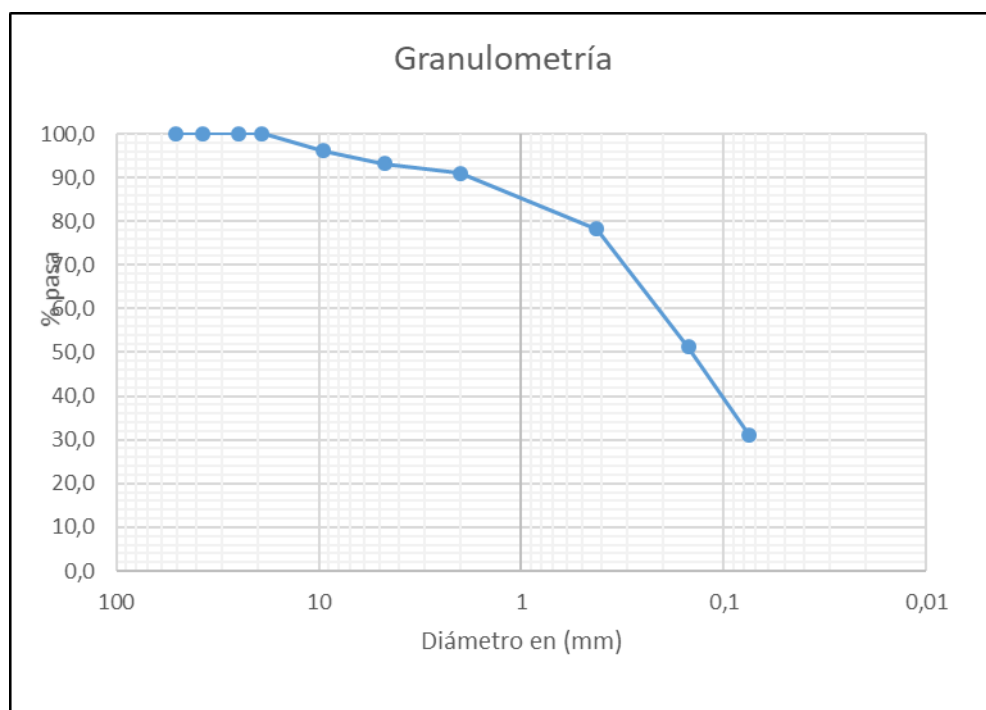
## Apique 8

Malla		Peso retenido	% retenido	% pasa
mm	Pul.			
50,8	2		0,0	100,0
37,5	1 1/2		0,0	100,0
25	1		0,0	100,0
19	3/4		0,0	100,0
9,5	3/8		0,0	100,0
4,75	N° 4		0,0	100,0
2	N°10		0,0	100,0
0,425	N°40	7,5	4,6	95,4
0,15	N° 100	63,2	38,8	56,6
0,075	N° 200	32,5	19,9	36,7



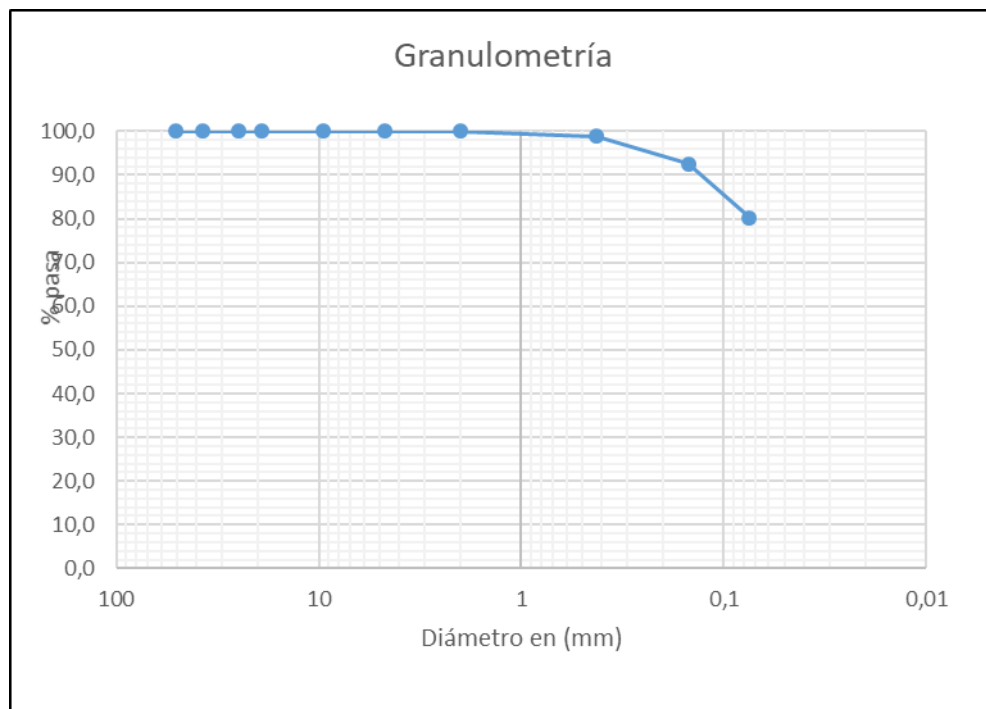
## Apique 9

Malla		Peso retenido	% retenido	% pasa
mm	Pul.			
50,8	2		0,0	100,0
37,5	1 1/2		0,0	100,0
25	1		0,0	100,0
19	3/4		0,0	100,0
9,5	3/8	23,6	3,8	96,2
4,75	N° 4	18,6	3,0	93,1
2	N°10	13,2	2,2	91,0
0,425	N°40	78,5	12,8	78,2
0,15	N° 100	165,3	27,0	51,2
0,075	N° 200	123,6	20,2	31,0



### Apique 10

Malla		Peso retenido	% retenido	% pasa
mm	Pul.			
50,8	2		0,0	100,0
37,5	1 1/2		0,0	100,0
25	1		0,0	100,0
19	3/4		0,0	100,0
9,5	3/8		0,0	100,0
4,75	N° 4		0,0	100,0
2	N° 10		0,0	100,0
0,425	N° 40	2,3	1,2	98,8
0,15	N° 100	11,8	6,2	92,6
0,075	N° 200	23,6	12,3	80,3

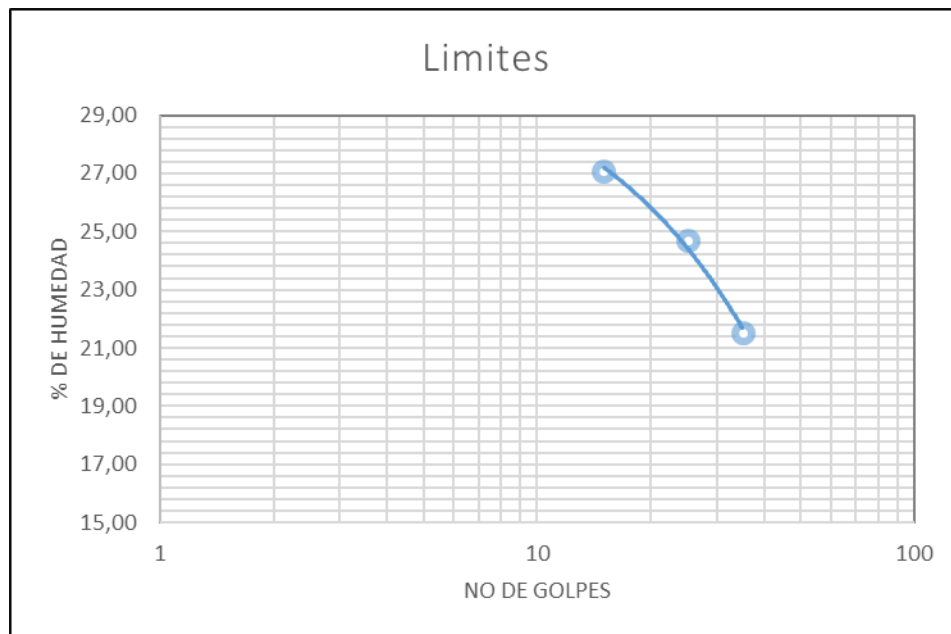


**Anexo 3.** Resultados determinación del  
límite líquido de los suelos INV E – 125  
-13, Límite plástico e índice de  
plasticidad de los suelos. INV E – 126 -  
13

## Apique 1

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS						
LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		
Copa No	25	36	48	Copa No	112	102
No de golpes	35	25	15	Peso copa + muestra húmeda (g)	23,15	25,63
Factor de corrección (k)	1,0	1,0	0,9	Peso copa + muestra seca (g)	21,42	24,01
Peso copa + muestra húmeda (g)	22,56	31,25	33,24	Peso copa (g)	12,36	15,25
Peso copa + muestra seca (g)	20,15	26,89	28,96	Contenido de humedad (%)	19,09	18,49
Peso copa (g)	8,96	9,25	13,15			
Contenido de humedad (%)	21,54	24,72	27,07			

Limite liquido(%)	24,44
Limite plastico(%)	18,79
Indice de plasticidad(%)	5,65

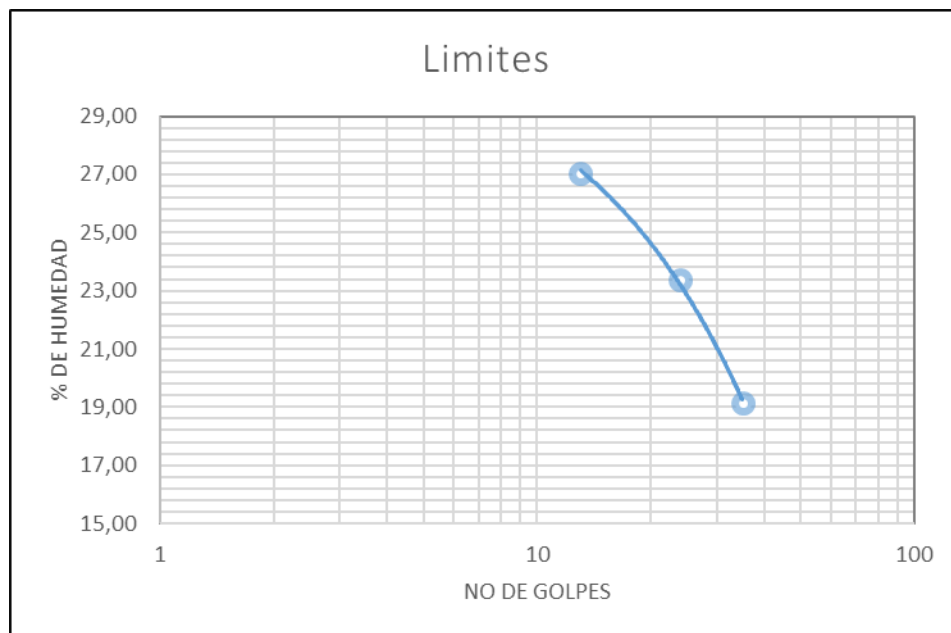




## Apique 2

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS						
LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		
Copa No	63	18	f	Copa No	103	119
No de golpes	35	24	13	Peso copa + muestra húmeda (g)	22,03	21,04
Factor de corrección (k)	1,0	1,0	0,9	Peso copa + muestra seca (g)	20,32	19,36
Peso copa + muestra húmeda (g)	32,26	29,63	28,56	Peso copa (g)	11,23	10,25
Peso copa + muestra seca (g)	28,56	25,63	24,15	Contenido de humedad (%)	18,81	18,44
Peso copa (g)	9,23	8,52	7,85			
Contenido de humedad (%)	19,14	23,38	27,06			

Limite liquido(%)	23,19
Limite plastico(%)	18,63
Indice de plasticidad(%)	4,56



### Apique 3

**NO LÍQUIDO, NO PLÁSTICO.**

### Apique 4

**NO LÍQUIDO, NO PLÁSTICO.**

### Apique 5

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS						
LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		
Copa No	HG	123	89	Copa No	85	97
No de golpes	33	24	15	Peso copa + muestra húmeda (g)	21,56	23,02
Factor de corrección (k)	1,0	1,0	0,9	Peso copa + muestra seca (g)	19,56	21,36
Peso copa + muestra húmeda (g)	26,33	25,47	27,15	Peso copa (g)	10,23	12,45
Peso copa + muestra seca (g)	19,65	18,45	19,63	Contenido de humedad (%)	21,44	18,63
Peso copa (g)	6,56	5,98	7,15			
Contenido de humedad (%)	51,03	56,30	60,26			

Limite liquido(%)	55,86
Limite plastico(%)	20,03
Indice de plasticidad(%)	35,83



## Apique 6

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS						
LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		
Copa No	98	23	17	Copa No	W	134
No de golpes	34	26	13	Peso copa + muestra húmeda (g)	20,36	19,65
Factor de corrección (k)	1,0	1,0	0,9	Peso copa + muestra seca (g)	18,45	17,74
Peso copa + muestra húmeda (g)	29,63	27,45	26,58	Peso copa (g)	10,23	9,9
Peso copa + muestra seca (g)	23,65	21,25	20,85	Contenido de humedad (%)	23,24	24,36
Peso copa (g)	6,53	5,24	7,85			
Contenido de humedad (%)	34,93	38,73	44,08			

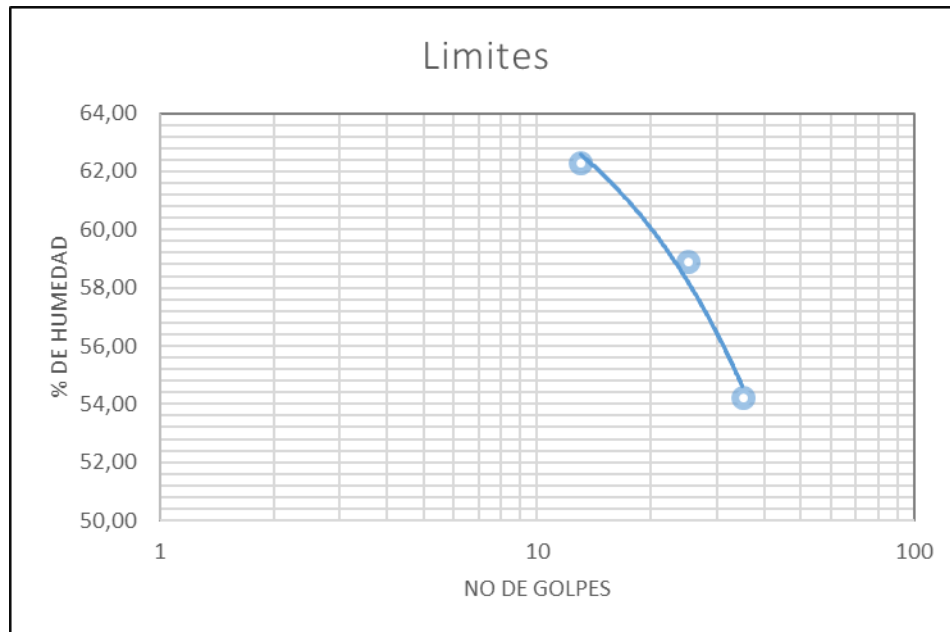
Limite liquido (%)	39.24
Limite plastico (%)	23.80
Indice de plasticidad (%)	15.45



## Apique 7

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS					
LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
Copa No	GH	D	L1	Copa No	E
No de golpes	35	25	13	Peso copa + muestra húmeda (g)	20,36
Factor de corrección (k)	1,0	1,0	0,9	Peso copa + muestra seca (g)	18,23
Peso copa + muestra húmeda (g)	25,63	23,58	24,78	Peso copa (g)	10,23
Peso copa + muestra seca (g)	19,16	18,16	18,52	Contenido de humedad (%)	26,63
Peso copa (g)	7,23	8,96	8,47		
Contenido de humedad (%)	54,23	58,91	62,29		

Limite liquido(%)	58,48
Limite plastico(%)	26,88
Indice de plasticidad(%)	31,60



### Apique 8

**NO LÍQUIDO, NO PLÁSTICO.**

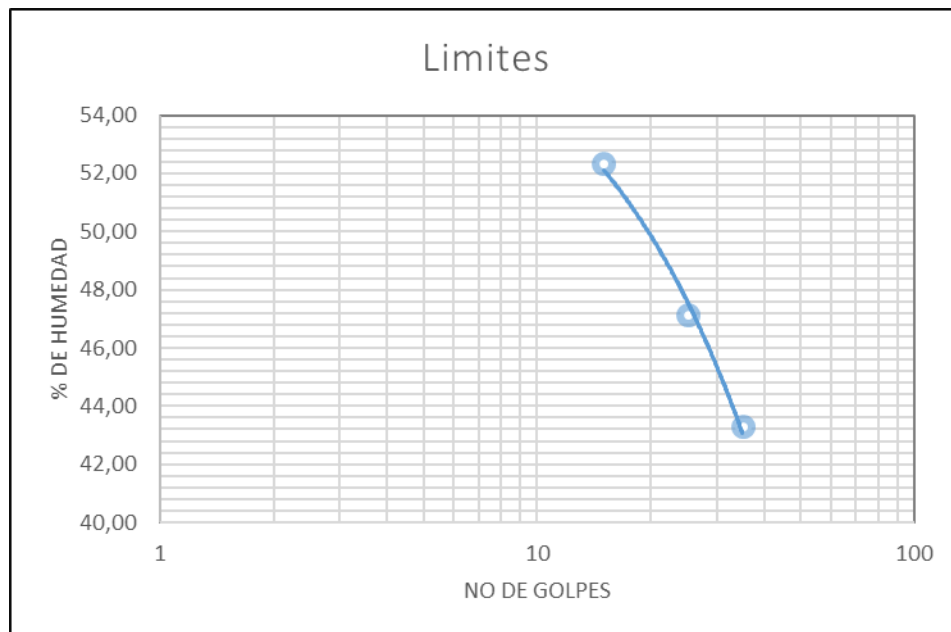
### Apique 9

**NO LÍQUIDO, NO PLÁSTICO.**

### Apique 10

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS						
LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO		
Copa No	L	B	A	Copa No	6	1
No de golpes	35	25	15	Peso copa + muestra húmeda (g)	24,02	22,15
Factor de corrección (k)	1,0	1,0	0,9	Peso copa + muestra seca (g)	22,03	20,19
Peso copa + muestra húmeda (g)	23,56	25,64	26,98	Peso copa (g)	13,26	12,14
Peso copa + muestra seca (g)	19,23	20,23	20,32	Contenido de humedad (%)	22,69	24,35
Peso copa (g)	9,23	8,75	7,6			
Contenido de humedad (%)	43,30	47,13	52,36			

Limite liquido(%)	47,59
Limite plastico(%)	23,52
Indice de plasticidad(%)	24,08



**Anexo 4.** Resultados determinación de la  
gravedad específica de las partículas  
sólidas de los suelos y del llenante  
mineral, empleando un picnómetro con  
agua. INV E – 128 – 13

## Apique 1

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS	
Muestra N°	Ap 1
Frasco N°	2
Metodo de remocion de aire	Bomba de vacío
Temperatura de ensayo, °C	20
Densidad del agua (g/cm3)	0,99829
Mpw,t (g)	652,90
Mpws, t (g)	715,60
Ms, (g)	101,36
Gt	2,62

$$G_t = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{[M_{pw,t} - (M_{pws,t} - M_s)]}$$

Mpw,t (g)	Masa de picnómetro lleno de agua a la temperatura de ensayo.
Mpws, t (g)	Masa del picnómetro con agua y sólidos a la temperatura de ensayo
Ms, (g)	Masa de sólidos del suelo secado en el horno

## Apique 2

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS	
Muestra N°	Ap 2
Frasco N°	5
Metodo de remocion de aire	Bomba de vacío
Temperatura de ensayo, °C	20
Densidad del agua (g/cm3)	0,99829
Mpw,t (g)	656,30
Mpws, t (g)	718,65
Ms, (g)	101,23
Gt	2,60

### Apique 3

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS	
Muestra N°	Ap 3
Frasco N°	4
Metodo de remocion de aire	Bomba de vacío
Temperatura de ensayo, °C	20
Densidad del agua (g/cm3)	0,99829
Mpw,t (g)	648,32
Mpws, t (g)	709,69
Ms, (g)	100,20
Gt	2,58

### Apique 4

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS	
Muestra N°	Ap 4
Frasco N°	3
Metodo de remocion de aire	Bomba de vacío
Temperatura de ensayo, °C	20
Densidad del agua (g/cm3)	0,99829
Mpw,t (g)	652,30
Mpws, t (g)	685,20
Ms, (g)	53,20
Gt	2,62



### Apique 5

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS	
Muestra N°	Ap 5
Frasco N°	2
Metodo de remocion de aire	Bomba de vacío
Temperatura de ensayo, °C	20
Densidad del agua (g/cm3)	0,99829
Mpw,t (g)	653,87
Mpws, t (g)	686,18
Ms, (g)	52,63
Gt	2,59

### Apique 6

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS	
Muestra N°	Ap 6
Frasco N°	7
Metodo de remocion de aire	Bomba de vacío
Temperatura de ensayo, °C	20
Densidad del agua (g/cm3)	0,99829
Mpw,t (g)	652,30
Mpws, t (g)	683,96
Ms, (g)	51,36
Gt	2,61

### Apique 7

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS	
Muestra N°	Ap 7
Frasco N°	4
Metodo de remocion de aire	Bomba de vacío
Temperatura de ensayo, °C	20
Densidad del agua (g/cm3)	0,99829
Mpw,t (g)	649,50
Mpws, t (g)	680,67
Ms, (g)	50,30
Gt	2,63

### Apique 8

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS	
Muestra N°	Ap 8
Frasco N°	5
Metodo de remocion de aire	Bomba de vacío
Temperatura de ensayo, °C	20
Densidad del agua (g/cm3)	0,99829
Mpw,t (g)	652,30
Mpws, t (g)	683,42
Ms, (g)	50,30
Gt	2,62

### Apique 9

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS	
Muestra N°	Ap 9
Frasco N°	1
Metodo de remocion de aire	Bomba de vacío
Temperatura de ensayo, °C	20
Densidad del agua (g/cm3)	0,99829
Mpw,t (g)	653,10
Mpws, t (g)	684,12
Ms, (g)	50,30
Gt	2,61

### Apique 10

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS	
Muestra N°	Ap 10
Frasco N°	8
Metodo de remocion de aire	Bomba de vacío
Temperatura de ensayo, °C	20
Densidad del agua (g/cm <sup>3</sup> )	0,99829
Mpw,t (g)	652,40
Mpws, t (g)	684,53
Ms, (g)	52,60
Gt	2,57

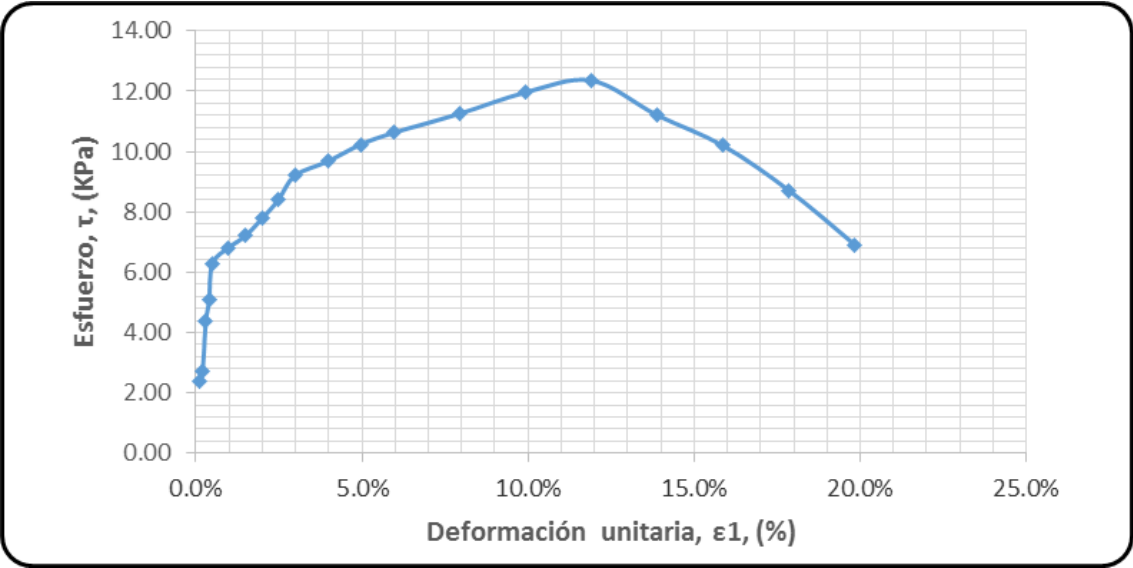
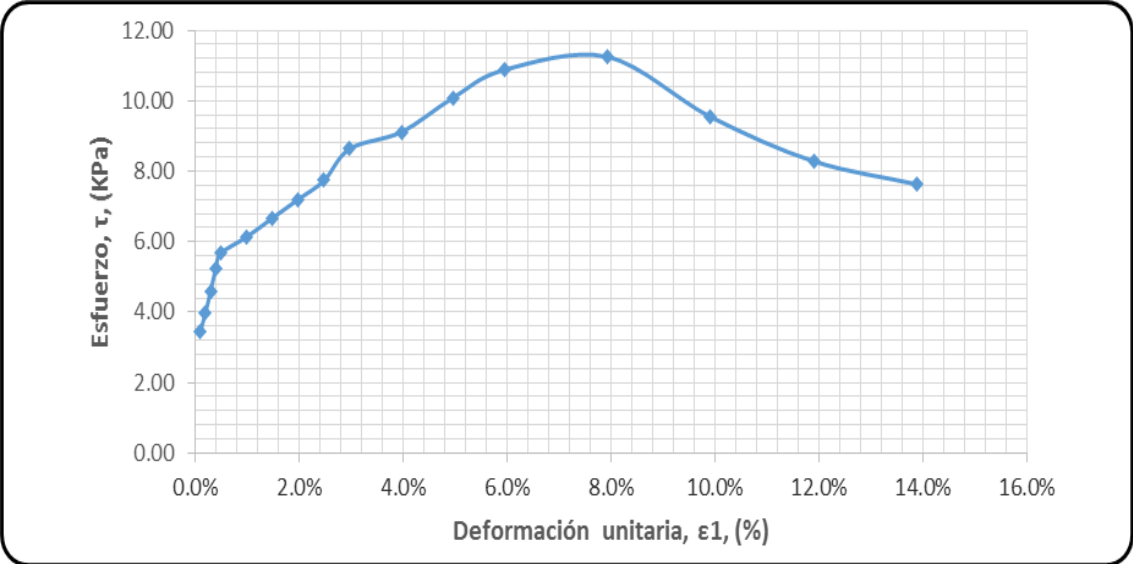
**Anexo 5.** Resultados ensayo de corte  
directo en condición consolidada  
drenada. INV E – 154 – 13

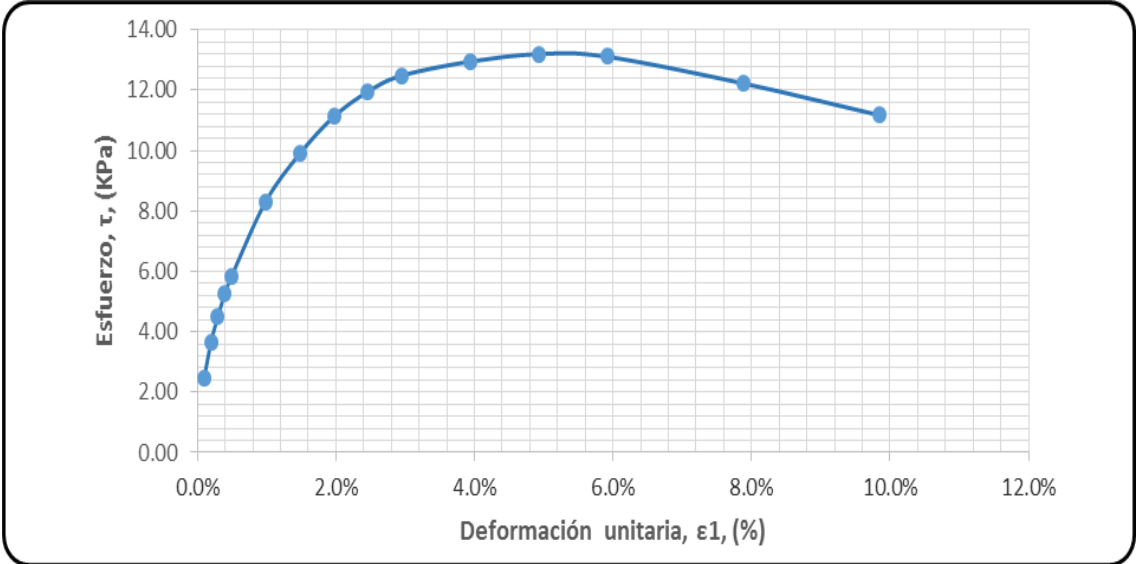
## Apique 1

APIQUE 1 - CORTE DIRECTO									
ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3					
Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU				
Carga Normal, (Kg)	1.8	Carga Normal, (Kg)	3.7	Carga Normal, (Kg)	7.4				
Esfuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.500	Esfuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.000	Esfuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.000				
DATOS DE LA MUESTRA		DATOS DE LA MUESTRA		DATOS DE LA MUESTRA					
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.215	Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.153	Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.263				
Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.058	Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.054	Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.047				
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.048	Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.047	Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.089				
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.639	Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.609	Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.820				
Volumen (cm <sup>3</sup> )	81.155	Volumen (cm <sup>3</sup> )	78.818	Volumen (cm <sup>3</sup> )	83.324				
Peso total, (g)	172.60	Peso total, (g)	175.43	Peso total, (g)	170.17				
CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD					
Platon No	123	Platon No	96	Platon No	123				
Peso Pla. + mh (g)	204.60	Peso Pla. + mh (g)	215.63	Peso Pla. + mh (g)	209.80				
Peso Pla. + ms (g)	185.60	Peso Pla. + ms (g)	196.90	Peso Pla. + ms (g)	192.54				
Platon (g)	32.00	Platon (g)	40.20	Platon (g)	39.63				
W	12.37%	W	11.95%	W	11.29%				

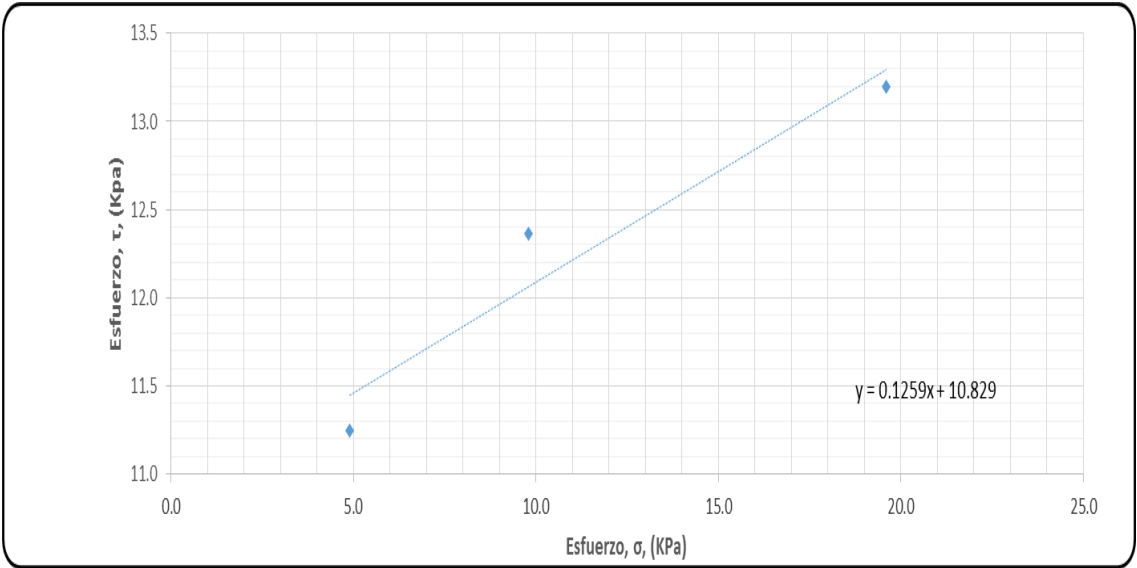
Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, ε <sub>1</sub> , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, σ, (KPa)	Esfuerzo, τ, (KPa)	τ/σ
0.400	0.006	0.4143	6.041	0.099%	8.9	36.645	9.800	2.383	0.243
0.483	0.012	0.4146	6.035	0.198%	10.1	36.681	9.791	2.706	0.276
0.533	0.018	0.4140	6.029	0.298%	16.3	36.718	9.781	4.355	0.445
0.617	0.024	0.4128	6.023	0.397%	19.0	36.754	9.771	5.071	0.519
0.717	0.030	0.4132	6.017	0.496%	23.6	36.791	9.761	6.293	0.645
1.017	0.060	0.4111	5.987	0.992%	25.7	36.975	9.713	6.819	0.702
1.300	0.090	0.4110	5.957	1.488%	27.3	37.162	9.664	7.207	0.746
1.567	0.120	0.4112	5.927	1.984%	29.6	37.350	9.615	7.775	0.809
1.850	0.150	0.4118	5.897	2.481%	32.1	37.540	9.567	8.399	0.878
2.117	0.180	0.4140	5.867	2.977%	35.4	37.732	9.518	9.204	0.967
2.617	0.240	0.4139	5.807	3.969%	37.6	38.122	9.421	9.676	1.027
3.083	0.300	0.4220	5.747	4.961%	40.2	38.520	9.323	10.238	1.098
3.583	0.360	0.4263	5.687	5.953%	42.2	38.926	9.226	10.625	1.152
4.617	0.480	0.4296	5.567	7.938%	45.6	39.765	9.031	11.257	1.246
5.617	0.600	0.4303	5.447	9.922%	49.6	40.641	8.837	11.963	1.354
6.633	0.720	0.4318	5.327	11.907%	52.4	41.557	8.642	12.360	1.430
7.633	0.840	0.4305	5.207	13.891%	48.6	42.514	8.447	11.205	1.326
8.683	0.960	0.4315	5.087	15.876%	45.2	43.517	8.253	10.196	1.236
9.700	1.080	0.4304	4.967	17.860%	39.6	44.569	8.058	8.708	1.081
10.750	1.200	0.4291	4.847	19.845%	32.2	45.672	7.863	6.906	0.878

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.367	0.006	6.0430	6.083	0.099%	9.3	36.857	19.601	2.475	0.126
0.417	0.012	6.0370	6.077	0.197%	13.8	36.893	19.581	3.669	0.187
0.483	0.018	6.0310	6.071	0.296%	16.9	36.929	19.562	4.489	0.229
0.533	0.024	6.0250	6.065	0.394%	19.8	36.966	19.543	5.255	0.269
0.533	0.030	6.0190	6.059	0.493%	22.0	37.002	19.523	5.833	0.299
0.883	0.060	5.9890	6.029	0.985%	31.5	37.187	19.427	8.310	0.428
1.167	0.090	5.9590	5.999	1.478%	37.7	37.373	19.330	9.896	0.512
1.450	0.120	5.9290	5.969	1.971%	42.6	37.560	19.233	11.126	0.578
1.733	0.150	5.8990	5.939	2.463%	46.0	37.750	19.137	11.954	0.625
2.000	0.180	5.8690	5.909	2.956%	48.3	37.942	19.040	12.488	0.656
2.533	0.240	5.8090	5.849	3.942%	50.6	38.331	18.847	12.950	0.687
3.067	0.300	5.7490	5.789	4.927%	52.1	38.728	18.653	13.197	0.707
3.600	0.360	5.6890	5.729	5.912%	52.3	39.134	18.460	13.110	0.710
4.667	0.480	5.5690	5.609	7.883%	49.8	39.971	18.073	12.222	0.676
5.517	0.600	5.4490	5.489	9.854%	46.5	40.845	17.687	11.168	0.631





Esfuerzos máximos, (Kpa)	0.5	1	2
Esfuerzo, $\sigma$	4.9	9.8	19.6
Esfuerzo, $\tau$	11.2	12.4	13.2



ANGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )
7.25	0.1104

## Apique 2

### APIQUE 2 - CORTE DIRECTO

ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU
Carga Normal, (Kg)	1.8	Carga Normal, (Kg)	3.6	Carga Normal, (Kg)	7.3
Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.500	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.000	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.000

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.198
Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.032
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.045
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.463
Volumen (cm <sup>3</sup> )	80.147
Peso total, (g)	173.50

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.185
Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.029
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.034
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.379
Volumen (cm <sup>3</sup> )	79.488
Peso total, (g)	172.50

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.236
Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.045
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.047
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.554
Volumen (cm <sup>3</sup> )	81.735
Peso total, (g)	173.10

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	2
Peso Pla. + mh (g)	206.00
Peso Pla. + ms (g)	190.80
Platon (g)	32.50
W	9.60%

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	32
Peso Pla. + mh (g)	212.00
Peso Pla. + ms (g)	196.60
Platon (g)	39.50
W	9.80%

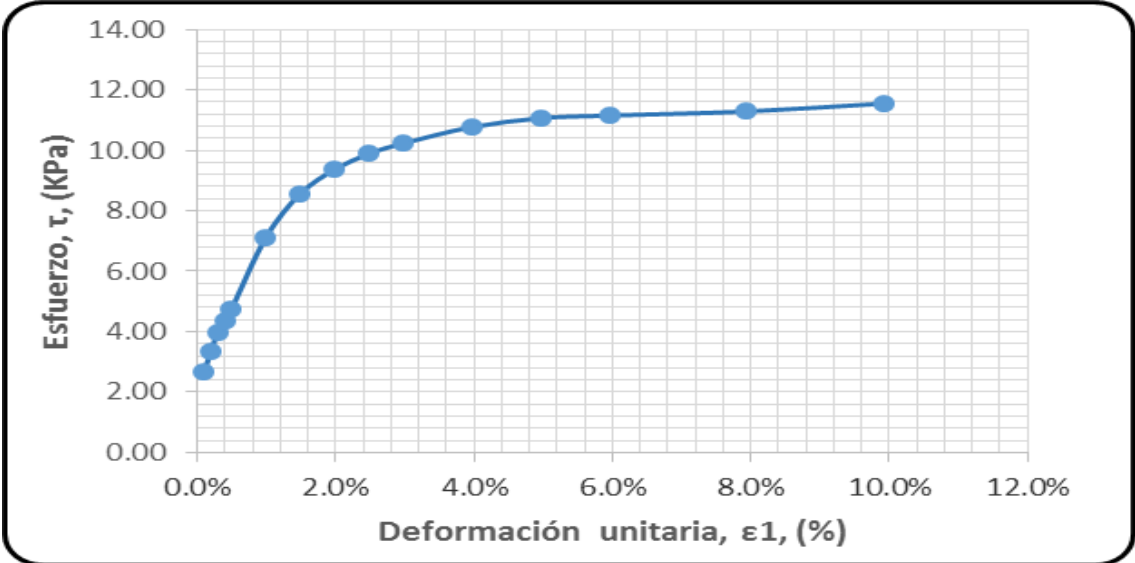
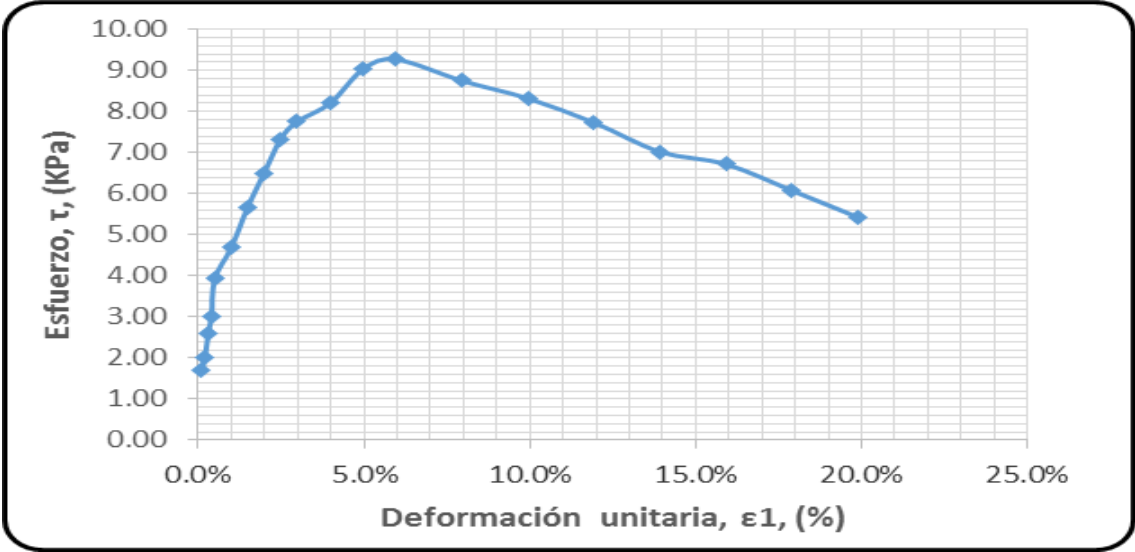
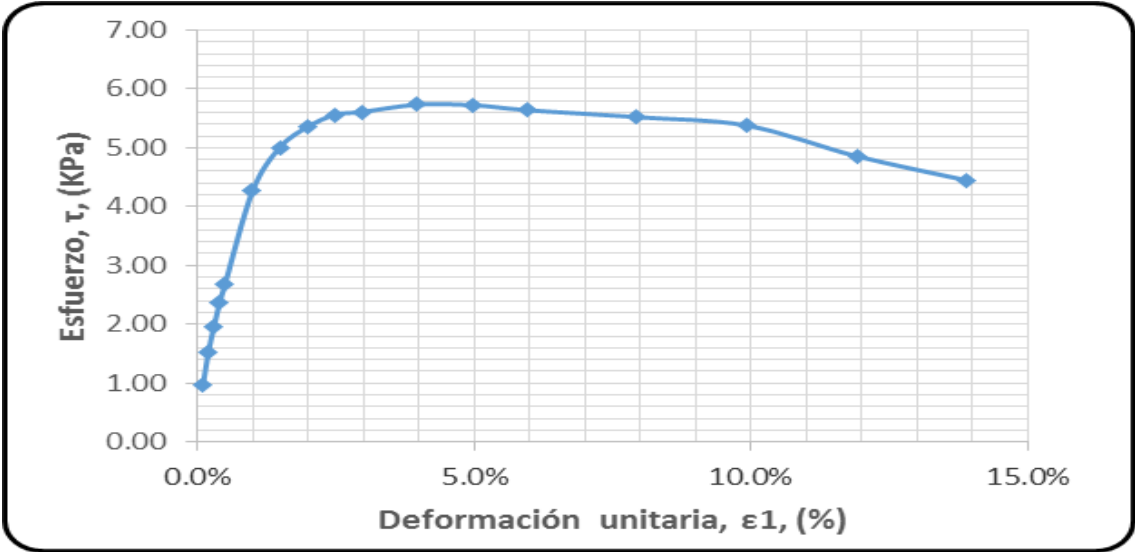
CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	89
Peso Pla. + mh (g)	218.60
Peso Pla. + ms (g)	203.50
Platon (g)	45.50
W	9.56%

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, ε <sub>1</sub> , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, σ, (KPa)	Esfuerzo, τ, (KPa)	τ/σ
0.167	0.006	0.4761	6.039	0.099%	3.6	36.500	4.900	0.968	0.197
0.217	0.012	0.4758	6.033	0.199%	5.7	36.536	4.895	1.530	0.313
0.300	0.018	0.4754	6.027	0.298%	7.3	36.572	4.890	1.958	0.400
0.350	0.024	0.4755	6.021	0.397%	8.8	36.609	4.886	2.358	0.483
0.417	0.030	0.4757	6.015	0.496%	10.0	36.645	4.881	2.677	0.548
0.683	0.060	0.4739	5.985	0.993%	16.0	36.829	4.856	4.262	0.878
0.950	0.090	0.4739	5.955	1.489%	18.9	37.015	4.832	5.009	1.037
1.233	0.120	0.4743	5.925	1.985%	20.3	37.202	4.808	5.353	1.113
1.500	0.150	0.4760	5.895	2.481%	21.2	37.391	4.783	5.562	1.163
1.783	0.180	0.4777	5.865	2.978%	21.5	37.583	4.759	5.612	1.179
2.333	0.240	0.4818	5.805	3.970%	22.2	37.971	4.710	5.735	1.218
2.850	0.300	0.4854	5.745	4.963%	22.4	38.368	4.662	5.727	1.229
3.383	0.360	0.4881	5.685	5.955%	22.3	38.772	4.613	5.642	1.223
4.450	0.480	0.4930	5.565	7.940%	22.3	39.609	4.516	5.523	1.223
5.483	0.600	0.4950	5.445	9.926%	22.2	40.481	4.418	5.380	1.218
6.533	0.720	0.4954	5.325	11.911%	20.5	41.394	4.321	4.858	1.124
7.533	0.840	0.4950	5.205	13.896%	19.2	42.348	4.223	4.448	1.053
8.633	0.960	0.4931	5.085	15.881%	18.3	43.347	4.126	4.141	1.004
9.650	1.080	0.4888	4.965	17.866%	17.3	44.395	4.029	3.823	0.949
10.650	1.200	0.4846	4.845	19.851%	16.8	45.495	3.931	3.623	0.921

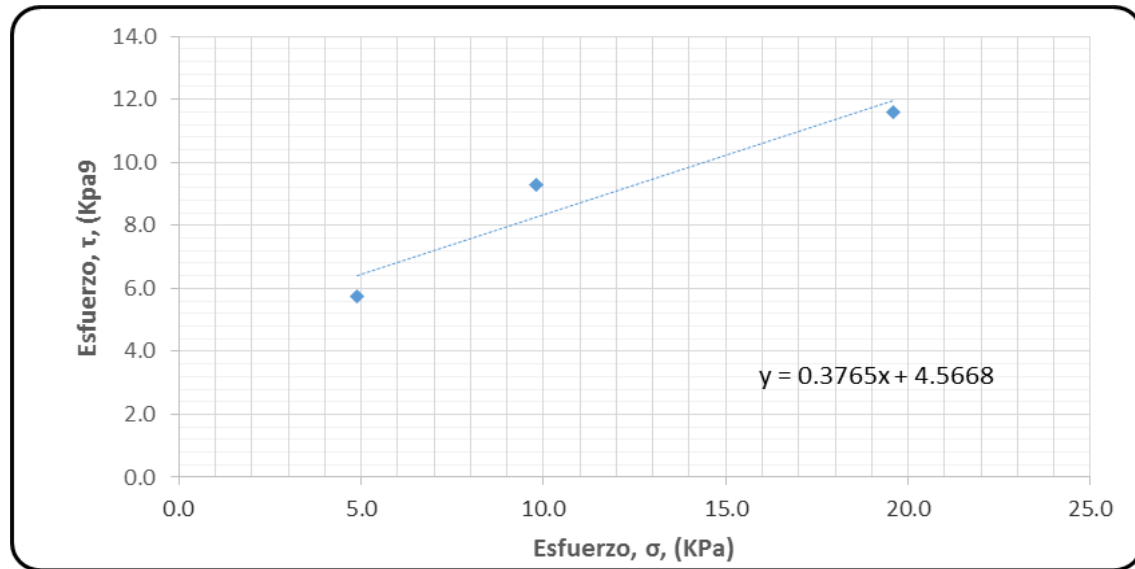


Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.150	0.006	0.5315	6.028	0.099%	6.3	36.415	9.800	1.697	0.173
0.200	0.012	0.5319	6.022	0.199%	7.5	36.451	9.790	2.005	0.205
0.267	0.018	0.5320	6.016	0.298%	9.6	36.488	9.781	2.584	0.264
0.333	0.024	0.5320	6.010	0.398%	11.3	36.524	9.771	3.022	0.309
0.383	0.030	0.5315	6.004	0.497%	14.6	36.561	9.761	3.926	0.402
0.683	0.060	0.5294	5.974	0.994%	17.6	36.744	9.712	4.688	0.483
0.967	0.090	0.5620	5.944	1.492%	21.4	36.930	9.664	5.674	0.587
1.233	0.120	0.5265	5.914	1.989%	24.6	37.117	9.615	6.510	0.677
1.500	0.150	0.5259	5.884	2.486%	27.9	37.306	9.566	7.334	0.767
1.767	0.180	0.5262	5.854	2.983%	29.7	37.498	9.517	7.757	0.815
2.300	0.240	0.5263	5.794	3.977%	31.7	37.886	9.420	8.206	0.871
2.800	0.300	0.5264	5.734	4.972%	35.3	38.282	9.322	9.036	0.969
3.317	0.360	0.5257	5.674	5.966%	36.6	38.687	9.225	9.271	1.005
4.433	0.480	0.5259	5.554	7.955%	35.3	39.523	9.030	8.752	0.969
5.500	0.600	0.5224	5.434	9.944%	34.3	40.396	8.835	8.320	0.942
6.567	0.720	0.5157	5.314	11.932%	32.6	41.308	8.639	7.732	0.895
7.617	0.840	0.5083	5.194	13.921%	30.3	42.262	8.444	7.022	0.832
8.683	0.960	0.5017	5.074	15.910%	29.6	43.262	8.249	6.719	0.814
9.700	1.080	0.4923	4.954	17.899%	27.5	44.310	8.054	6.077	0.755
10.717	1.200	0.4812	4.834	19.887%	25.1	45.410	7.859	5.427	0.691

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.217	0.006	0.3604	6.041	0.099%	10.0	36.590	19.601	2.681	0.137
0.317	0.012	0.3607	6.035	0.198%	12.5	36.627	19.581	3.348	0.171
0.383	0.018	0.3603	6.029	0.298%	14.9	36.663	19.562	3.987	0.204
0.450	0.024	0.3602	6.023	0.397%	16.3	36.700	19.542	4.357	0.223
0.517	0.030	0.3594	6.017	0.496%	17.8	36.736	19.523	4.753	0.243
0.833	0.060	0.3593	5.987	0.992%	26.8	36.920	19.425	7.121	0.367
1.100	0.090	0.3595	5.957	1.488%	32.4	37.106	19.328	8.566	0.443
1.383	0.120	0.3621	5.927	1.984%	35.6	37.294	19.231	9.364	0.487
1.650	0.150	0.3652	5.897	2.481%	37.8	37.484	19.133	9.893	0.517
1.933	0.180	0.3705	5.867	2.977%	39.3	37.676	19.036	10.233	0.538
2.483	0.240	0.3799	5.807	3.969%	41.8	38.065	18.841	10.773	0.572
3.000	0.300	0.3897	5.747	4.961%	43.4	38.462	18.647	11.069	0.594
3.500	0.360	0.3965	5.687	5.953%	44.2	38.868	18.452	11.156	0.605
4.583	0.480	0.4083	5.567	7.938%	45.7	39.706	18.063	11.291	0.625
5.617	0.600	0.4163	5.447	9.922%	47.8	40.581	17.673	11.555	0.654
6.600	0.720	0.4253	5.327	11.907%	49.1	41.495	17.284	11.608	0.672
7.550	0.840	0.4302	5.207	13.891%	49.7	42.451	16.895	11.485	0.680
8.583	0.960	0.4314	5.087	15.876%	49.2	43.452	16.505	11.108	0.673
9.583	1.080	0.4305	4.967	17.860%	48.6	44.502	16.116	10.713	0.665
10.600	1.200	0.4279	4.847	19.845%	48.3	45.604	15.726	10.390	0.661



<b>Esfuerzos máximos, (Kpa)</b>	0.5	1	2
<b>Esfuerzo, <math>\sigma</math></b>	4.9	9.8	19.6
<b>Esfuerzo, <math>\tau</math></b>	5.7	9.3	11.6



<b>ANGULO DE FRICCIÓN</b>	<b>COHESIÓN (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
22.65	0.0466

### Apique 3

## APIQUE 3 - CORTE DIRECTO

ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU
Carga Normal, (Kg)	1.8	Carga Normal, (Kg)	3.6	Carga Normal, (Kg)	7.3
Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.500	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.000	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.000

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.125
Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.035
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.033
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.409
Volumen (cm <sup>3</sup> )	77.369
Peso total, (g)	172.30

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.201
Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.025
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.031
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.337
Volumen (cm <sup>3</sup> )	79.977
Peso total, (g)	170.90

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.214
Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.035
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.025
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.361
Volumen (cm <sup>3</sup> )	80.503
Peso total, (g)	173.20

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	36
Peso Pla. + mh (g)	237.50
Peso Pla. + ms (g)	226.30
Platon (g)	65.20
W	6.95%

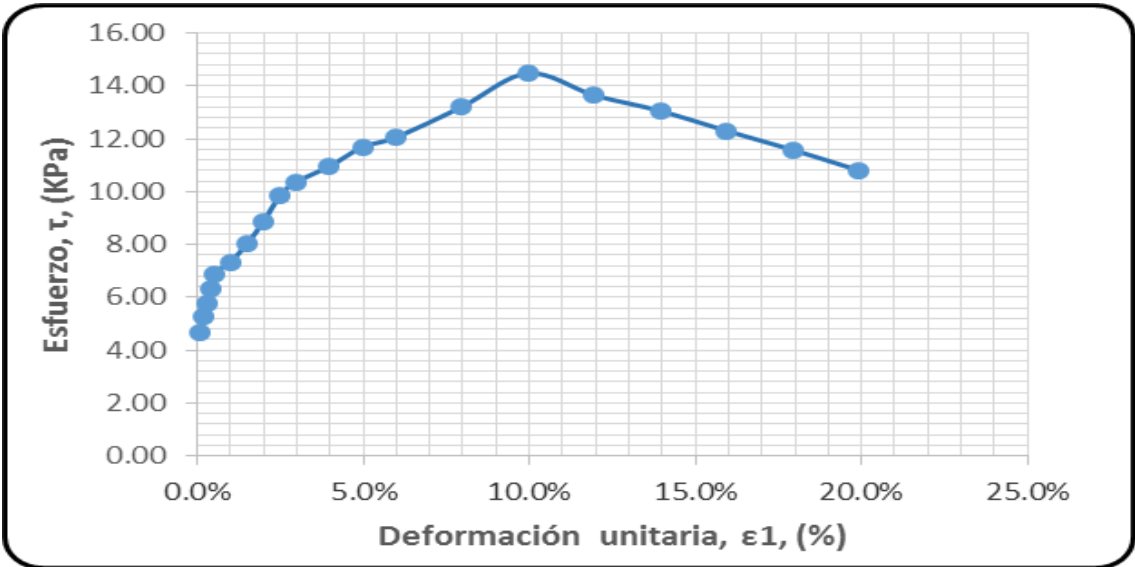
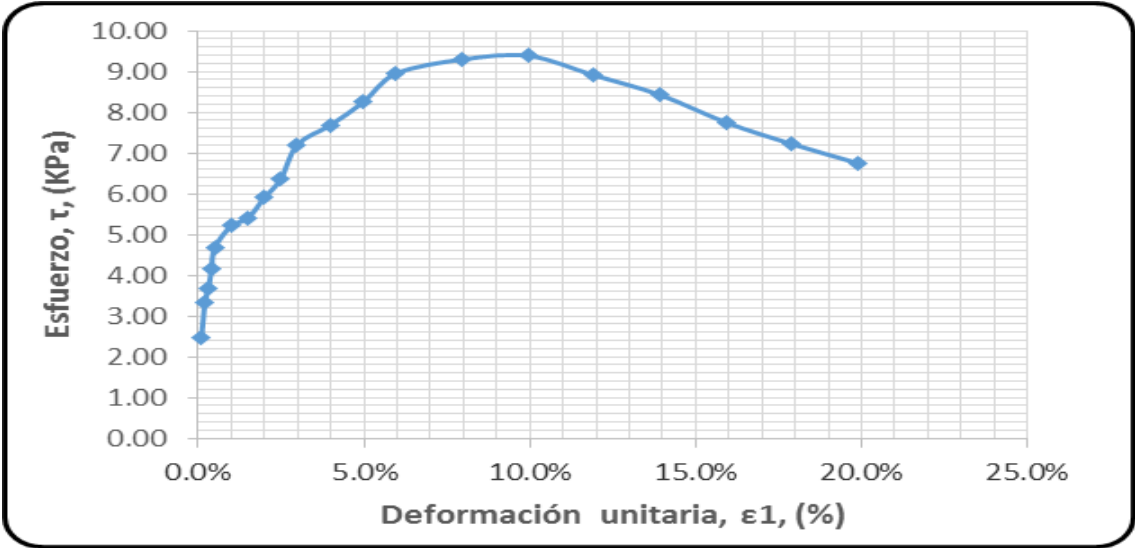
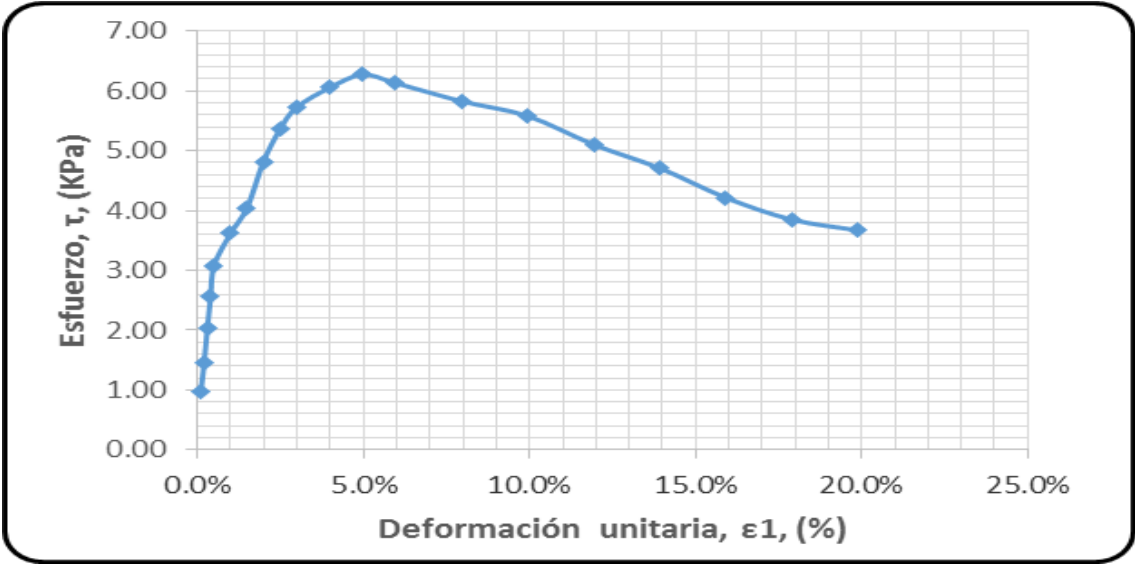
CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	213
Peso Pla. + mh (g)	213.40
Peso Pla. + ms (g)	202.30
Platon (g)	42.50
W	6.95%

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	67
Peso Pla. + mh (g)	212.80
Peso Pla. + ms (g)	204.10
Platon (g)	39.60
W	5.29%

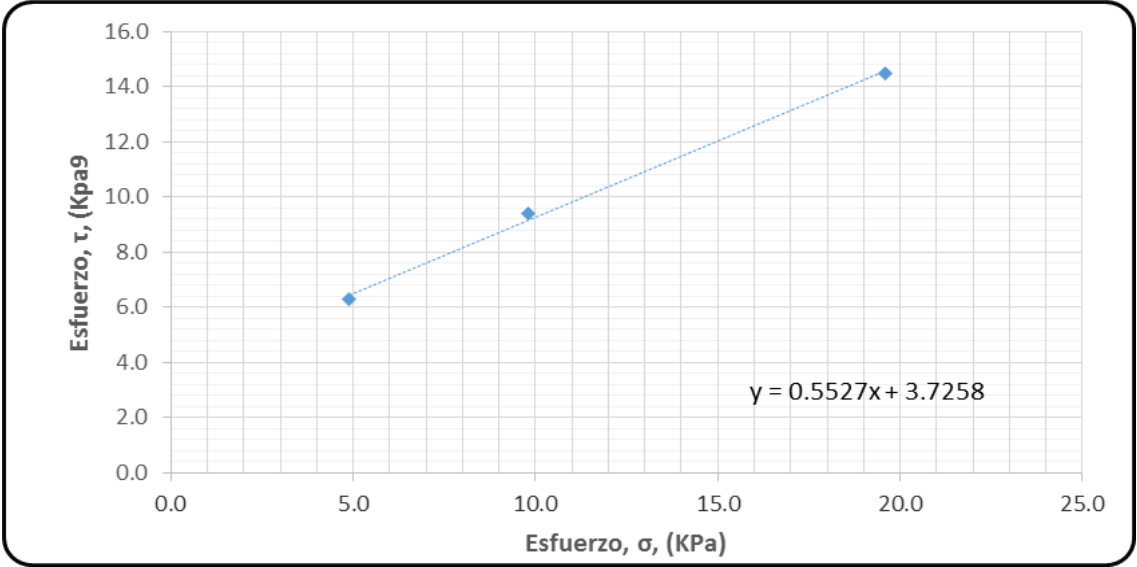
Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, ε <sub>1</sub> , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, σ, (KPa)	Esfuerzo, τ, (KPa)	τ/σ
0.350	0.006	2.8320	6.027	0.099%	3.6	36.445	4.900	0.969	0.198
0.417	0.012	2.8260	6.021	0.199%	5.4	36.482	4.895	1.452	0.297
0.467	0.018	2.8200	6.015	0.298%	7.6	36.518	4.890	2.042	0.417
0.617	0.024	2.8140	6.009	0.398%	9.6	36.555	4.885	2.576	0.527
0.650	0.030	2.8080	6.003	0.497%	11.5	36.591	4.881	3.083	0.632
0.683	0.060	2.7780	5.973	0.995%	13.6	36.775	4.856	3.617	0.745
1.550	0.090	2.7480	5.943	1.492%	15.2	36.961	4.832	4.045	0.837
1.917	0.120	2.7180	5.913	1.989%	18.3	37.148	4.807	4.822	1.003
2.617	0.150	2.6880	5.883	2.486%	20.4	37.337	4.783	5.360	1.121
3.217	0.180	2.6580	5.853	2.984%	21.9	37.529	4.759	5.725	1.203
3.867	0.240	2.5980	5.793	3.978%	23.4	37.918	4.710	6.054	1.285
4.950	0.300	2.5380	5.733	4.973%	24.5	38.314	4.661	6.273	1.346
5.750	0.360	2.4780	5.673	5.967%	24.2	38.720	4.612	6.131	1.329
7.717	0.480	2.3580	5.553	7.956%	23.5	39.556	4.515	5.828	1.291
8.733	0.600	2.2380	5.433	9.945%	23.0	40.430	4.417	5.581	1.263
9.933	0.720	2.1180	5.313	11.934%	21.5	41.343	4.320	5.102	1.181
10.250	0.840	1.9980	5.193	13.923%	20.3	42.299	4.222	4.708	1.115
11.450	0.960	1.8780	5.073	15.912%	18.6	43.299	4.124	4.214	1.022
11.750	1.080	1.7580	4.953	17.902%	17.4	44.348	4.027	3.849	0.956
12.250	1.200	1.6380	4.833	19.891%	17.0	45.449	3.929	3.669	0.934

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.167	0.006	1.7700	6.025	0.099%	9.2	36.373	9.800	2.481	0.253
0.217	0.012	1.7640	6.019	0.199%	12.3	36.409	9.790	3.314	0.339
0.300	0.018	1.7580	6.013	0.298%	13.6	36.446	9.781	3.661	0.374
0.350	0.024	1.7520	6.007	0.398%	15.4	36.482	9.771	4.141	0.424
0.417	0.030	1.7460	6.001	0.497%	17.4	36.518	9.761	4.674	0.479
0.683	0.060	1.7160	5.971	0.995%	19.5	36.702	9.712	5.212	0.537
0.950	0.090	1.6860	5.941	1.492%	20.3	36.887	9.664	5.399	0.559
1.233	0.120	1.6560	5.911	1.990%	22.3	37.074	9.615	5.901	0.614
1.500	0.150	1.6260	5.881	2.487%	24.2	37.264	9.566	6.358	0.665
1.783	0.180	1.5960	5.851	2.985%	27.5	37.455	9.517	7.203	0.757
2.333	0.240	1.5360	5.791	3.979%	29.6	37.843	9.420	7.681	0.815
2.850	0.300	1.4760	5.731	4.974%	32.2	38.239	9.322	8.248	0.885
3.383	0.360	1.4160	5.671	5.969%	35.3	38.643	9.224	8.951	0.970
4.450	0.480	1.2960	5.551	7.959%	37.4	39.479	9.029	9.293	1.029
5.483	0.600	1.1760	5.431	9.949%	38.6	40.351	8.834	9.384	1.062
6.533	0.720	1.0560	5.311	11.938%	37.5	41.263	8.639	8.904	1.031
7.533	0.840	0.9360	5.191	13.928%	36.3	42.217	8.444	8.423	0.998
8.633	0.960	0.8160	5.071	15.918%	34.1	43.216	8.248	7.745	0.939
9.650	1.080	0.6960	4.951	17.907%	32.6	44.263	8.053	7.216	0.896
10.650	1.200	0.5760	4.831	19.897%	31.2	45.363	7.858	6.747	0.859

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.150	0.006	2.3960	6.019	0.100%	17.4	36.397	19.600	4.690	0.239
0.200	0.012	2.3900	6.013	0.199%	19.6	36.433	19.581	5.277	0.270
0.267	0.018	2.3840	6.007	0.299%	21.4	36.470	19.561	5.746	0.294
0.333	0.024	2.3780	6.001	0.398%	23.5	36.506	19.542	6.302	0.322
0.383	0.030	2.3720	5.995	0.498%	25.6	36.543	19.522	6.880	0.352
0.683	0.060	2.3420	5.965	0.996%	27.5	36.727	19.425	7.332	0.377
0.967	0.090	2.3120	5.935	1.494%	30.2	36.912	19.327	8.026	0.415
1.233	0.120	2.2820	5.905	1.992%	33.5	37.100	19.229	8.858	0.461
1.500	0.150	2.2520	5.875	2.490%	37.4	37.289	19.132	9.839	0.514
1.767	0.180	2.2220	5.845	2.988%	39.6	37.481	19.034	10.365	0.545
2.300	0.240	2.1620	5.785	3.983%	42.3	37.869	18.838	10.958	0.582
2.800	0.300	2.1020	5.725	4.979%	45.6	38.266	18.643	11.690	0.627
3.317	0.360	2.0420	5.665	5.975%	47.5	38.672	18.448	12.050	0.653
4.433	0.480	1.9220	5.545	7.967%	53.2	39.508	18.057	13.210	0.732
5.500	0.600	1.8020	5.425	9.959%	59.6	40.382	17.666	14.479	0.820
6.567	0.720	1.6820	5.305	11.950%	57.5	41.296	17.275	13.647	0.790
7.617	0.840	1.5620	5.185	13.942%	56.2	42.252	16.885	13.056	0.773
8.683	0.960	1.4420	5.065	15.934%	54.2	43.253	16.494	12.300	0.746
9.700	1.080	1.3220	4.945	17.925%	52.3	44.302	16.103	11.581	0.719
10.717	1.200	1.2020	4.825	19.917%	50.0	45.404	15.712	10.803	0.688



<b>Esfuerzos máximos, (Kpa)</b>	0.5	1	2
<b>Esfuerzo, <math>\sigma</math></b>	4.9	9.8	19.6
<b>Esfuerzo, <math>\tau</math></b>	6.3	9.4	14.5



<b>ANGULO DE FRICCIÓN</b>	<b>COHESIÓN (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
35.34	0.0380

## Apique 4

### APIQUE 4 - CORTE DIRECTO

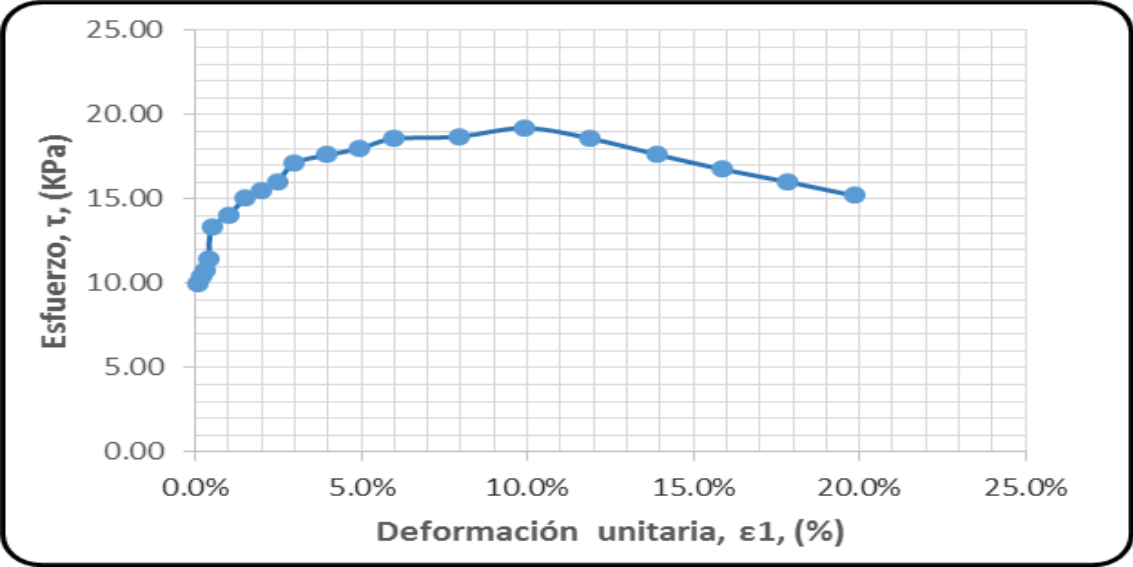
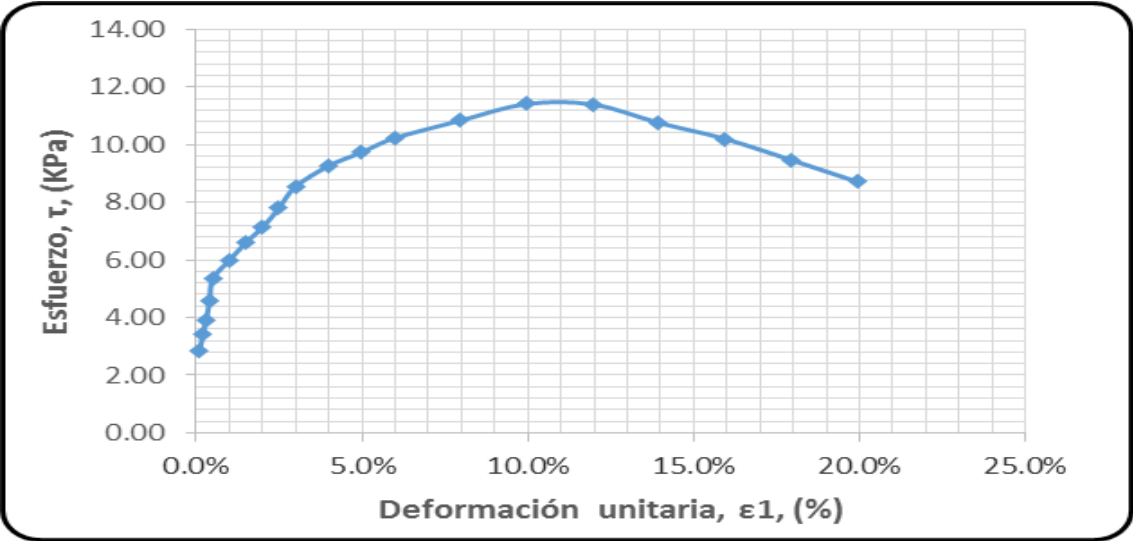
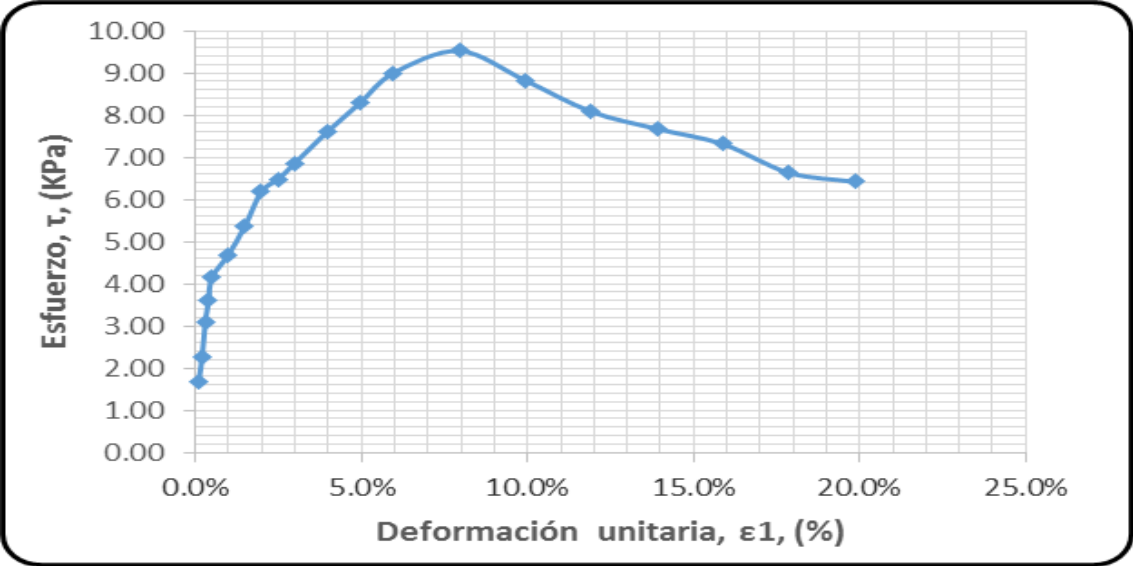
APIQUE 4 - CORTE DIRECTO									
ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3					
Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU				
Carga Normal, (Kg)	1.8	Carga Normal, (Kg)	3.6	Carga Normal, (Kg)	7.3				
Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.500	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.000	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.000				
DATOS DE LA MUESTRA		DATOS DE LA MUESTRA		DATOS DE LA MUESTRA					
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.136	Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.159	Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.214				
Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.056	Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.023	Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.045				
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.045	Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.024	Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.047				
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.609	Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.283	Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.554				
Volumen (cm <sup>3</sup> )	78.196	Volumen (cm <sup>3</sup> )	78.334	Volumen (cm <sup>3</sup> )	80.931				
Peso total, (g)	172.80	Peso total, (g)	173.20	Peso total, (g)	172.40				
CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD					
Platon No	69	Platon No	EG	Platon No	GH				
Peso Pla. + mh (g)	207.40	Peso Pla. + mh (g)	237.70	Peso Pla. + mh (g)	212.20				
Peso Pla. + ms (g)	190.20	Peso Pla. + ms (g)	221.20	Peso Pla. + ms (g)	194.60				
Platon (g)	34.60	Platon (g)	64.50	Platon (g)	39.80				
W	11.05%	W	10.53%	W	11.37%				

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, ε <sub>t</sub> , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, σ, (KPa)	Esfuerzo, τ, (KPa)	τ/σ
0.000	0.006	3.0560	6.039	0.099%	6.3	36.645	4.900	1.687	0.344
0.300	0.012	3.0500	6.033	0.199%	8.5	36.681	4.895	2.273	0.464
0.383	0.018	3.0440	6.027	0.298%	11.6	36.718	4.890	3.099	0.634
0.450	0.024	3.0380	6.021	0.397%	13.5	36.754	4.886	3.614	0.740
0.500	0.030	3.0320	6.015	0.496%	15.6	36.791	4.881	4.152	0.851
0.783	0.060	3.0020	5.985	0.993%	17.7	36.976	4.856	4.693	0.966
1.067	0.090	2.9720	5.955	1.489%	20.4	37.162	4.832	5.375	1.112
1.367	0.120	2.9420	5.925	1.985%	23.6	37.350	4.808	6.188	1.287
1.633	0.150	2.9120	5.895	2.481%	24.8	37.540	4.783	6.476	1.354
1.883	0.180	2.8820	5.865	2.978%	26.4	37.732	4.759	6.851	1.440
2.417	0.240	2.8220	5.805	3.970%	29.6	38.122	4.710	7.607	1.615
2.917	0.300	2.7620	5.745	4.963%	32.6	38.520	4.662	8.292	1.779
3.400	0.360	2.7020	5.685	5.955%	35.7	38.927	4.613	8.994	1.950
4.433	0.480	2.5820	5.565	7.940%	38.6	39.766	4.516	9.522	2.109
5.433	0.600	2.4620	5.445	9.926%	36.6	40.643	4.418	8.825	1.997
6.450	0.720	2.6780	5.325	11.911%	34.3	41.558	4.321	8.085	1.871
7.400	0.840	2.6742	5.205	13.896%	33.3	42.517	4.223	7.674	1.817
7.817	0.960	2.6711	5.085	15.881%	32.5	43.520	4.126	7.315	1.773
9.283	1.080	2.6671	4.965	17.866%	30.1	44.572	4.029	6.634	1.647
10.250	1.200	2.6645	4.845	19.851%	29.9	45.676	3.931	6.420	1.633

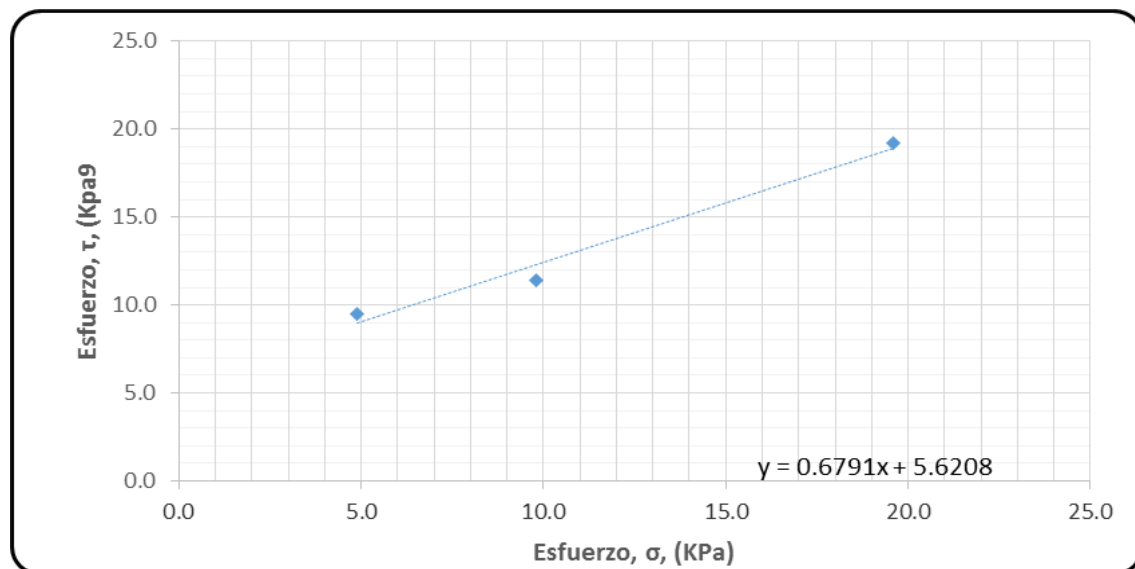


Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.400	0.006	0.8014	6.018	0.100%	10.6	36.319	9.800	2.863	0.292
0.483	0.012	0.7973	6.012	0.199%	12.6	36.355	9.790	3.400	0.347
0.533	0.018	0.7957	6.006	0.299%	14.6	36.391	9.781	3.928	0.402
0.617	0.024	0.7947	6.000	0.398%	17.0	36.428	9.771	4.573	0.468
0.717	0.030	0.7893	5.994	0.498%	19.9	36.464	9.761	5.346	0.548
1.017	0.060	0.7885	5.964	0.996%	22.4	36.648	9.712	5.985	0.616
1.300	0.090	0.7884	5.934	1.494%	24.8	36.833	9.663	6.600	0.683
1.567	0.120	0.7884	5.904	1.992%	26.9	37.020	9.615	7.126	0.741
1.850	0.150	0.7902	5.874	2.490%	29.6	37.209	9.566	7.793	0.815
2.117	0.180	0.7948	5.844	2.988%	32.6	37.400	9.517	8.540	0.897
2.617	0.240	0.7989	5.784	3.984%	35.7	37.788	9.419	9.260	0.983
3.083	0.300	0.8013	5.724	4.980%	37.9	38.184	9.321	9.734	1.044
3.583	0.360	0.8013	5.664	5.976%	40.2	38.589	9.224	10.227	1.109
4.617	0.480	0.8032	5.544	7.968%	43.6	39.424	9.028	10.839	1.201
5.617	0.600	0.7953	5.424	9.960%	46.9	40.296	8.833	11.415	1.292
6.633	0.720	0.7231	5.304	11.952%	47.9	41.208	8.637	11.401	1.320
7.633	0.840	0.7098	5.184	13.944%	46.3	42.162	8.442	10.761	1.275
8.683	0.960	0.7099	5.064	15.936%	44.9	43.161	8.247	10.203	1.237
9.700	1.080	0.7098	4.944	17.928%	42.7	44.208	8.051	9.473	1.177
10.750	1.200	0.7097	4.824	19.920%	40.3	45.308	7.856	8.715	1.109

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.367	0.006	0.0993	6.041	0.099%	37.2	36.590	19.601	9.984	0.509
0.417	0.012	0.0996	6.035	0.198%	39.0	36.627	19.581	10.435	0.533
0.483	0.018	0.0990	6.029	0.298%	40.3	36.663	19.562	10.770	0.551
0.533	0.024	0.0978	6.023	0.397%	43.0	36.700	19.542	11.494	0.588
0.533	0.030	0.0982	6.017	0.496%	49.9	36.736	19.523	13.323	0.682
0.883	0.060	0.0961	5.987	0.992%	52.7	36.920	19.425	14.000	0.721
1.167	0.090	0.0960	5.957	1.488%	56.9	37.106	19.328	15.035	0.778
1.450	0.120	0.0962	5.927	1.984%	59.0	37.294	19.231	15.512	0.807
1.733	0.150	0.0968	5.897	2.481%	61.3	37.484	19.133	16.030	0.838
2.000	0.180	0.0990	5.867	2.977%	65.8	37.676	19.036	17.128	0.900
2.533	0.240	0.0989	5.807	3.969%	68.4	38.065	18.841	17.618	0.935
3.067	0.300	0.1070	5.747	4.961%	70.6	38.462	18.647	17.997	0.965
3.600	0.360	0.1113	5.687	5.953%	73.6	38.868	18.452	18.571	1.006
4.667	0.480	0.1146	5.567	7.938%	75.7	39.706	18.063	18.700	1.035
5.517	0.600	0.1153	5.447	9.922%	79.5	40.581	17.673	19.218	1.087
7.817	0.720	0.1168	5.327	11.907%	78.6	41.495	17.284	18.589	1.076
9.117	0.840	0.1155	5.207	13.891%	76.4	42.451	16.895	17.646	1.044
10.200	0.960	0.1165	5.087	15.876%	74.3	43.452	16.505	16.763	1.016
11.633	1.080	0.1154	4.967	17.860%	72.6	44.502	16.116	16.010	0.993
11.917	1.200	0.1141	4.847	19.845%	70.7	45.604	15.726	15.206	0.967



Esfuerzos máximos, (Kpa)	0.5	1	2
Esfuerzo, $\sigma$	4.9	9.8	19.6
Esfuerzo, $\tau$	9.5	11.4	19.2



ANGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )
46.25	0.0573

## Apique 5

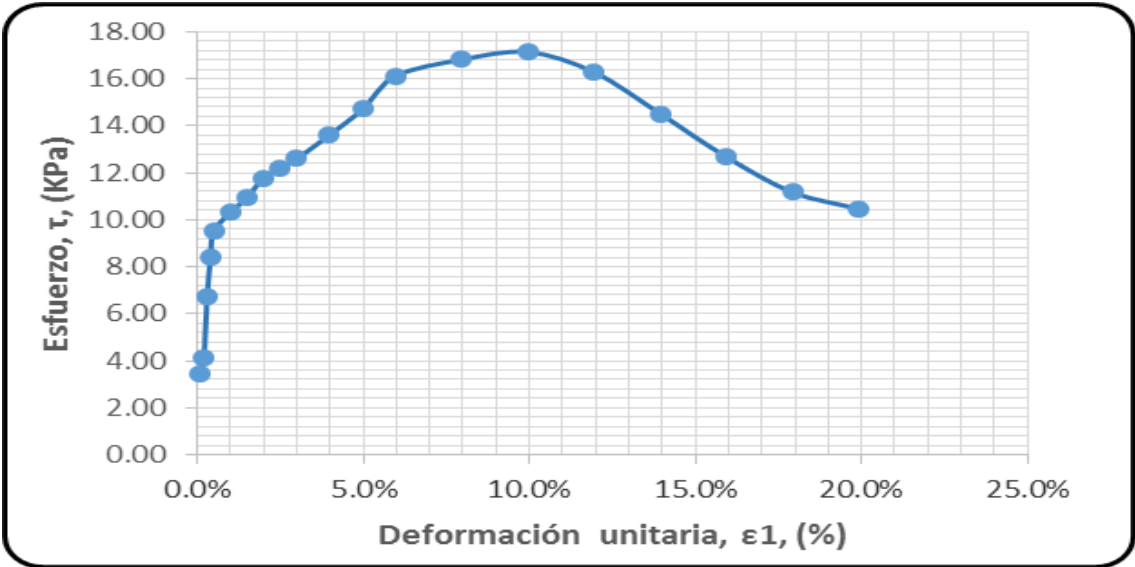
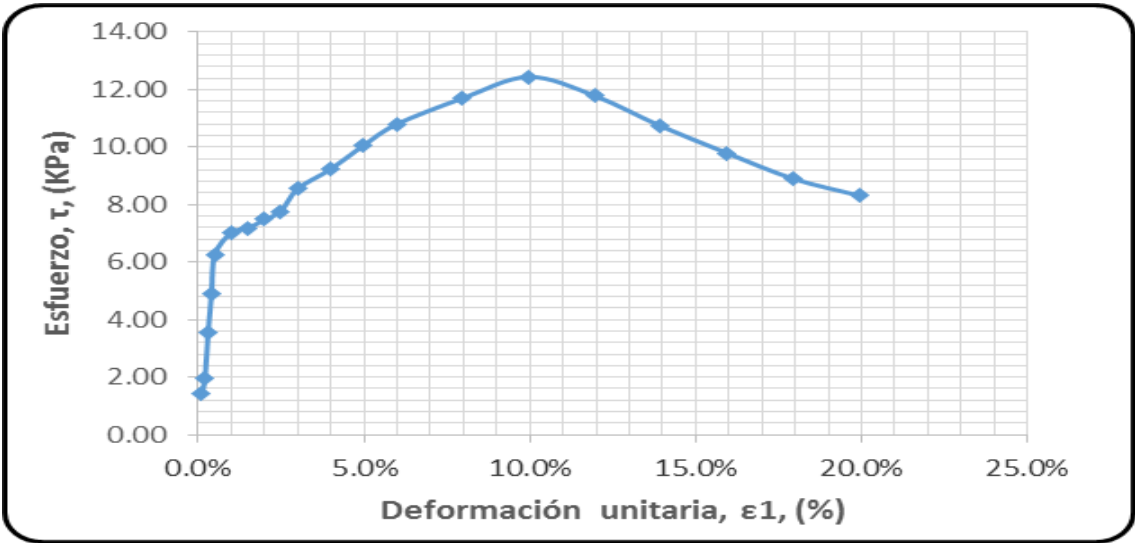
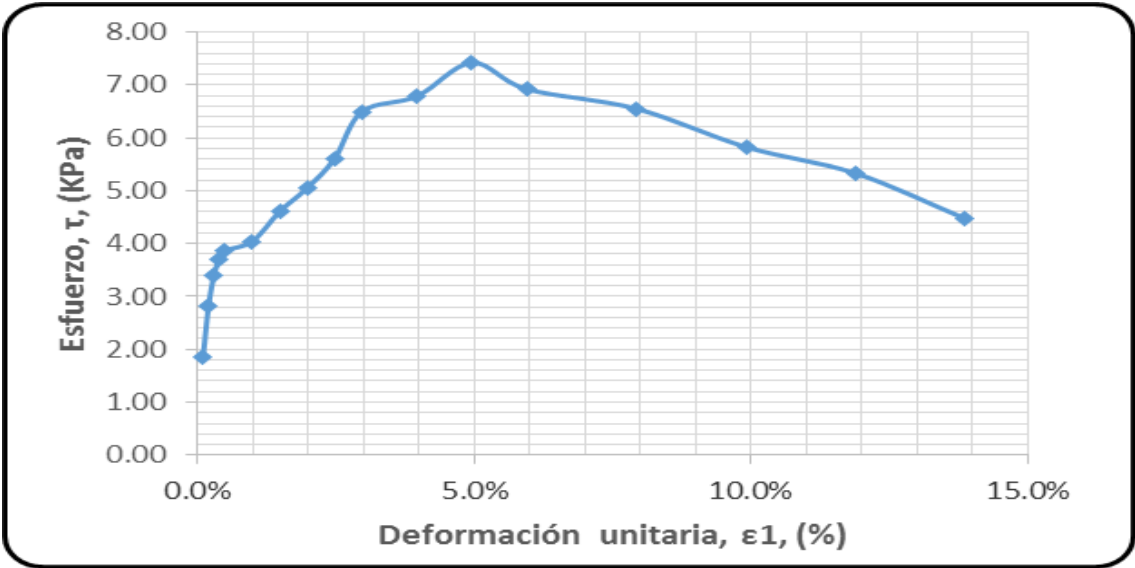
### APIQUE 5 - CORTE DIRECTO

ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU
Carga Normal, (Kg)	1.8	Carga Normal, (Kg)	3.6	Carga Normal, (Kg)	7.2
Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.500	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.000	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.000
DATOS DE LA MUESTRA		DATOS DE LA MUESTRA		DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.201	Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.209	Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.213
Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.042	Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.036	Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.005
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.054	Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.025	Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.027
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.578	Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.367	Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.192
Volumen (cm <sup>3</sup> )	80.509	Volumen (cm <sup>3</sup> )	80.334	Volumen (cm <sup>3</sup> )	80.093
Peso total, (g)	172.50	Peso total, (g)	173.40	Peso total, (g)	173.50
CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	36	Platon No	156	Platon No	47
Peso Pla. + mh (g)	217.50	Peso Pla. + mh (g)	209.40	Peso Pla. + mh (g)	212.70
Peso Pla. + ms (g)	189.30	Peso Pla. + ms (g)	180.70	Peso Pla. + ms (g)	184.60
Platon (g)	45.00	Platon (g)	36.00	Platon (g)	39.20
W	19.54%	W	19.83%	W	19.33%

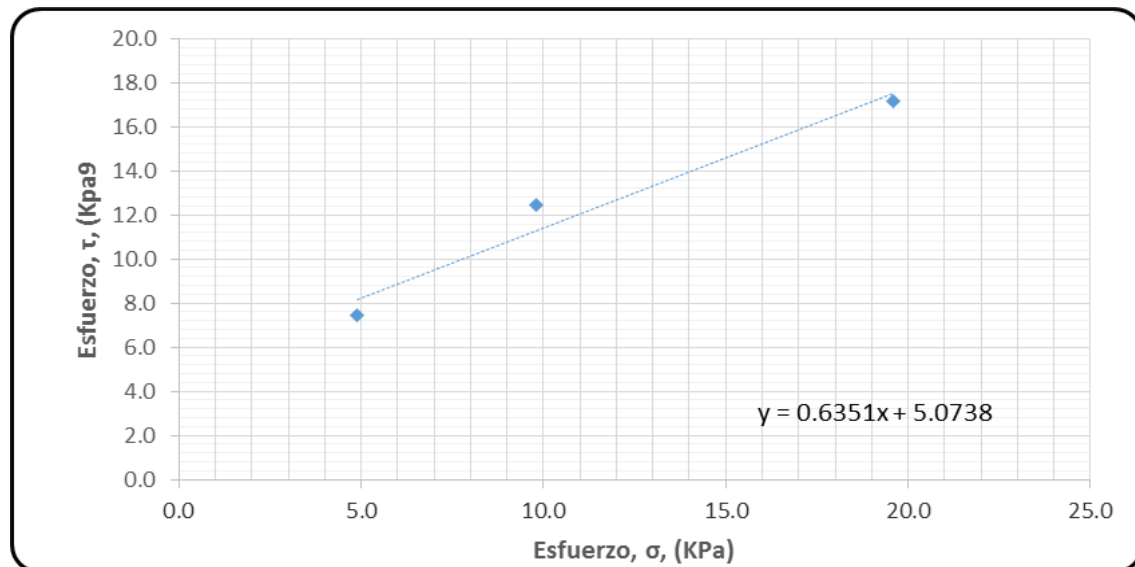
Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, ε <sub>i</sub> , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, σ, (KPa)	Esfuerzo, τ, (KPa)	τ/σ
0.217	0.006	5.0407	6.048	0.099%	6.9	36.615	4.900	1.849	0.377
0.300	0.012	5.0347	6.042	0.198%	10.5	36.651	4.895	2.810	0.574
0.383	0.018	5.0287	6.036	0.297%	12.7	36.687	4.890	3.396	0.694
0.450	0.024	5.0227	6.030	0.396%	13.9	36.724	4.886	3.713	0.760
0.517	0.030	5.0167	6.024	0.496%	14.5	36.760	4.881	3.870	0.793
0.817	0.060	4.9867	5.994	0.991%	15.2	36.944	4.856	4.044	0.833
1.100	0.090	4.9567	5.964	1.487%	17.5	37.130	4.832	4.610	0.954
1.383	0.120	4.9267	5.934	1.982%	19.2	37.318	4.808	5.055	1.051
1.650	0.150	4.8967	5.904	2.478%	21.5	37.508	4.783	5.610	1.173
1.933	0.180	4.8667	5.874	2.973%	25.0	37.699	4.759	6.500	1.366
2.350	0.240	4.8067	5.814	3.964%	26.4	38.088	4.711	6.789	1.441
2.983	0.300	4.7467	5.754	4.955%	29.1	38.485	4.662	7.423	1.592
3.483	0.360	4.6867	5.694	5.946%	27.5	38.891	4.613	6.924	1.501
4.533	0.480	4.5667	5.574	7.929%	26.5	39.728	4.516	6.553	1.451
5.517	0.600	4.4467	5.454	9.911%	24.1	40.602	4.419	5.828	1.319
6.550	0.720	4.3267	5.334	11.893%	22.6	41.516	4.322	5.331	1.234
7.533	0.840	4.2067	5.214	13.875%	19.4	42.471	4.224	4.472	1.059
8.567	0.960	4.0867	5.094	15.857%	18.5	43.472	4.127	4.164	1.009
9.567	1.080	3.9667	4.974	17.839%	17.6	44.520	4.030	3.885	0.964
10.200	1.200	3.8467	4.854	19.822%	16.5	45.621	3.933	3.557	0.904

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.183	0.006	4.9840	6.019	0.100%	5.2	36.403	9.800	1.401	0.143
0.283	0.012	4.9780	6.013	0.199%	7.2	36.439	9.790	1.938	0.198
0.350	0.018	4.9720	6.007	0.299%	13.3	36.476	9.781	3.566	0.365
0.450	0.024	4.9660	6.001	0.398%	18.3	36.512	9.771	4.906	0.502
0.467	0.030	4.9600	5.995	0.498%	23.3	36.549	9.761	6.254	0.641
0.800	0.060	4.9300	5.965	0.996%	26.3	36.733	9.712	7.024	0.723
1.083	0.090	4.9000	5.935	1.494%	27.0	36.918	9.663	7.174	0.742
1.333	0.120	4.8700	5.905	1.992%	28.3	37.106	9.615	7.482	0.778
1.600	0.150	4.8400	5.875	2.490%	29.5	37.295	9.566	7.770	0.812
1.867	0.180	4.8100	5.845	2.988%	32.7	37.487	9.517	8.544	0.898
2.400	0.240	4.7500	5.785	3.983%	35.6	37.876	9.419	9.231	0.980
2.883	0.300	4.6900	5.725	4.979%	39.2	38.273	9.322	10.055	1.079
3.417	0.360	4.6300	5.665	5.975%	42.6	38.678	9.224	10.795	1.170
4.433	0.480	4.5100	5.545	7.967%	47.1	39.515	9.028	11.698	1.296
5.450	0.600	4.3900	5.425	9.959%	51.2	40.389	8.833	12.443	1.409
6.633	0.720	4.2700	5.305	11.950%	49.6	41.303	8.638	11.788	1.365
7.800	0.840	4.1500	5.185	13.942%	46.2	42.259	8.442	10.732	1.271
8.483	0.960	4.0300	5.065	15.934%	43.2	43.260	8.247	9.796	1.188
9.500	1.080	3.9100	4.945	17.925%	40.2	44.310	8.052	8.907	1.106
10.533	1.200	3.7900	4.825	19.917%	38.5	45.412	7.856	8.317	1.059

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.233	0.006	5.0590	6.021	0.100%	12.8	36.228	19.600	3.466	0.177
0.367	0.012	5.0530	6.015	0.199%	15.3	36.264	19.581	4.139	0.211
0.450	0.018	5.0470	6.009	0.299%	24.9	36.301	19.561	6.729	0.344
0.550	0.024	5.0410	6.003	0.398%	31.2	36.337	19.542	8.423	0.431
0.617	0.030	5.0350	5.997	0.498%	35.3	36.373	19.522	9.521	0.488
0.883	0.060	5.0050	5.967	0.996%	38.4	36.556	19.425	10.305	0.531
1.283	0.090	4.9750	5.937	1.493%	41.0	36.741	19.327	10.947	0.566
1.583	0.120	4.9450	5.907	1.991%	44.3	36.927	19.229	11.769	0.612
1.850	0.150	4.9150	5.877	2.489%	46.2	37.116	19.132	12.211	0.638
2.133	0.180	4.8850	5.847	2.987%	47.9	37.306	19.034	12.596	0.662
2.667	0.240	4.8250	5.787	3.982%	52.3	37.693	18.839	13.612	0.723
3.183	0.300	4.7650	5.727	4.978%	57.1	38.088	18.643	14.712	0.789
3.700	0.360	4.7050	5.667	5.973%	63.3	38.491	18.448	16.123	0.874
4.767	0.480	4.5850	5.547	7.964%	67.4	39.324	18.057	16.819	0.931
5.783	0.600	4.4650	5.427	9.955%	70.2	40.193	17.667	17.141	0.970
6.800	0.720	4.3450	5.307	11.946%	68.2	41.102	17.276	16.285	0.943
7.800	0.840	4.2250	5.187	13.937%	62.2	42.053	16.886	14.517	0.860
8.867	0.960	4.1050	5.067	15.928%	55.6	43.049	16.495	12.677	0.769
9.867	1.080	3.9850	4.947	17.919%	50.2	44.093	16.104	11.175	0.694
10.883	1.200	3.8650	4.827	19.910%	48.2	45.190	15.714	10.470	0.666



Esfuerzos máximos, (Kpa)	0.5	1	2
Esfuerzo, $\sigma$	4.9	9.8	19.6
Esfuerzo, $\tau$	7.4	12.4	17.1



ANGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )
42.22	0.0517

## Apique 6

### APIQUE 6 - CORTE DIRECTO

APIQUE 6 - CORTE DIRECTO			
ENSAYO 1		ENSAYO 2	
Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU
Carga Normal, (Kg)	1.8	Carga Normal, (Kg)	3.7
Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.500	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.000

ENSAYO 3	
Tipo de ensayo	UU
Carga Normal, (Kg)	7.3
Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.000

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.215
Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.035
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.042
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.463
Volumen (cm <sup>3</sup> )	80.767
Peso total, (g)	172.50

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.198
Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.045
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.045
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.542
Volumen (cm <sup>3</sup> )	80.319
Peso total, (g)	172.30

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.204
Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.036
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.034
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.421
Volumen (cm <sup>3</sup> )	80.272
Peso total, (g)	171.80

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	UJ2
Peso Pla. + mh (g)	235.70
Peso Pla. + ms (g)	206.30
Platon (g)	63.20
W	20.55%

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	J36
Peso Pla. + mh (g)	202.80
Peso Pla. + ms (g)	175.30
Platon (g)	30.50
W	18.99%

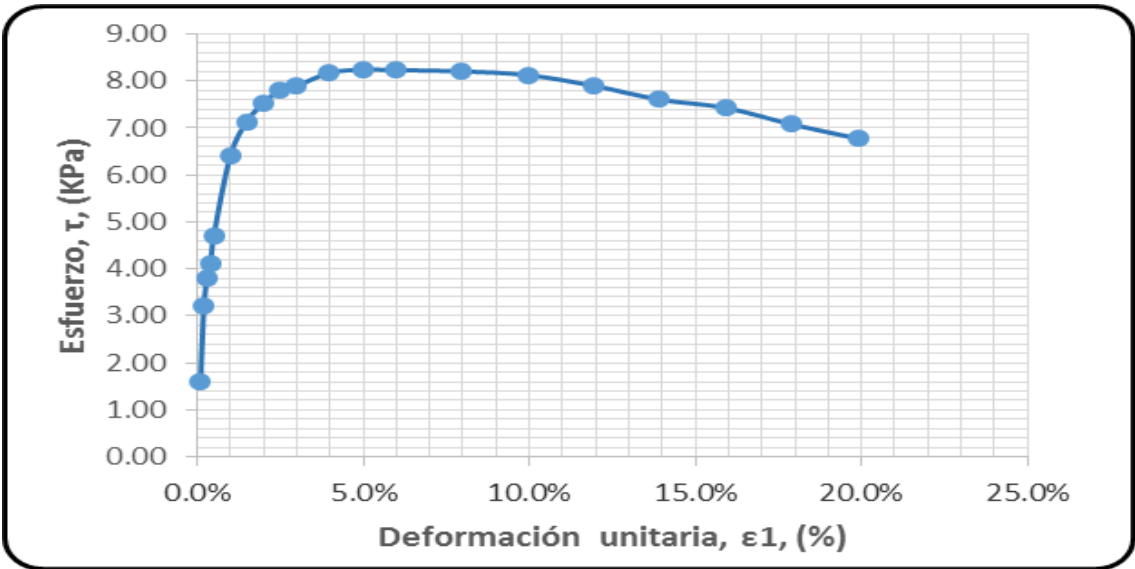
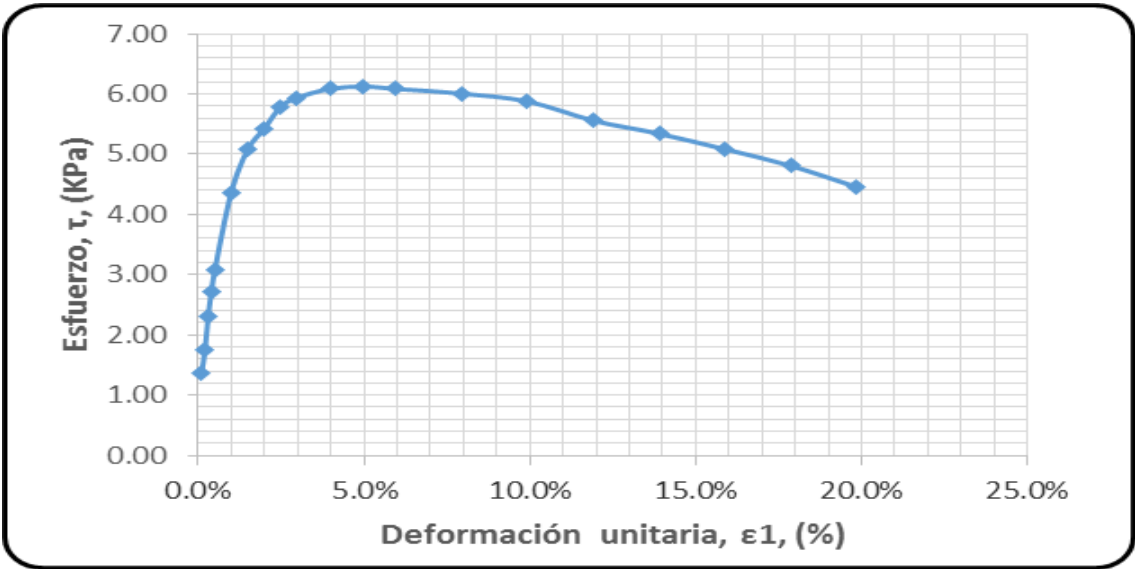
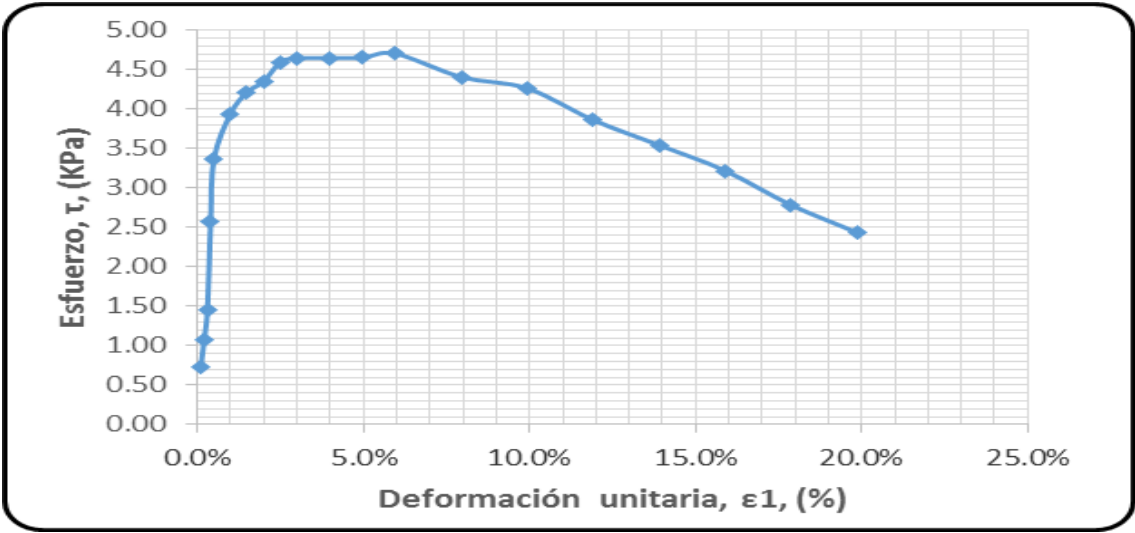
CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	ER1
Peso Pla. + mh (g)	214.30
Peso Pla. + ms (g)	185.60
Platon (g)	42.50
W	20.06%

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, ε <sub>t</sub> , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, σ, (KPa)	Esfuerzo, τ, (KPa)	τ/σ
0.150	0.006	0.3339	6.036	0.099%	2.7	36.500	4.900	0.726	0.148
0.267	0.012	0.3333	6.030	0.199%	4.0	36.536	4.895	1.074	0.219
0.333	0.018	0.3340	6.024	0.298%	5.4	36.572	4.890	1.448	0.296
0.367	0.024	0.3329	6.018	0.397%	9.6	36.609	4.886	2.572	0.527
0.433	0.030	0.3324	6.012	0.497%	12.6	36.645	4.881	3.373	0.691
0.717	0.060	0.3297	5.982	0.993%	14.8	36.829	4.856	3.942	0.812
0.983	0.090	0.3292	5.952	1.490%	15.9	37.015	4.832	4.214	0.872
1.233	0.120	0.3283	5.922	1.986%	16.5	37.202	4.808	4.351	0.905
1.483	0.150	0.3292	5.892	2.483%	17.5	37.392	4.783	4.591	0.960
1.750	0.180	0.3252	5.862	2.979%	17.8	37.583	4.759	4.646	0.976
2.283	0.240	0.3204	5.802	3.972%	18.0	37.972	4.710	4.650	0.987
2.783	0.300	0.2657	5.742	4.965%	18.2	38.369	4.661	4.653	0.998
3.267	0.360	0.3122	5.682	5.958%	18.6	38.774	4.613	4.706	1.020
4.317	0.480	0.3034	5.562	7.944%	17.8	39.610	4.515	4.408	0.976
5.317	0.600	0.2974	5.442	9.930%	17.6	40.484	4.418	4.265	0.965
6.350	0.720	0.2898	5.322	11.917%	16.3	41.397	4.320	3.863	0.894
7.350	0.840	0.2839	5.202	13.903%	15.3	42.351	4.223	3.544	0.839
8.383	0.960	0.2777	5.082	15.889%	14.2	43.351	4.126	3.220	0.781
9.400	1.080	0.2717	4.962	17.875%	12.6	44.400	4.028	2.784	0.691
10.417	1.200	0.2666	4.842	19.861%	11.3	45.500	3.931	2.436	0.620

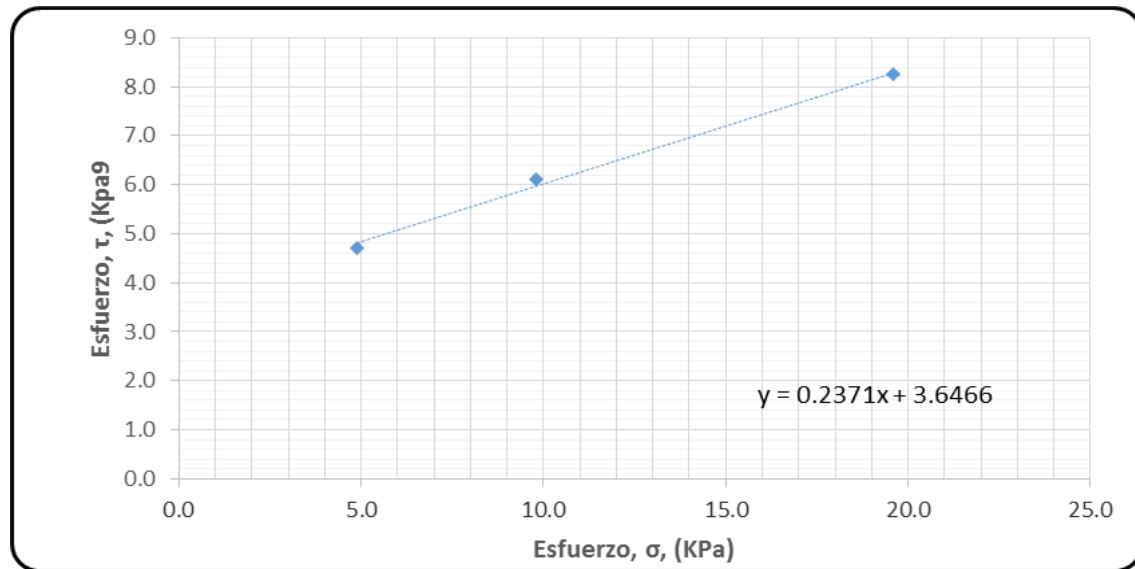


Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.083	0.006	0.0651	6.039	0.099%	5.1	36.578	9.800	1.368	0.140
0.117	0.012	0.0652	6.033	0.199%	6.5	36.615	9.791	1.742	0.178
0.250	0.018	0.0653	6.027	0.298%	8.6	36.651	9.781	2.302	0.235
0.350	0.024	0.0652	6.021	0.397%	10.2	36.688	9.771	2.727	0.279
0.433	0.030	0.0653	6.015	0.496%	11.5	36.724	9.761	3.072	0.315
0.700	0.060	0.0658	5.985	0.993%	16.4	36.908	9.713	4.359	0.449
0.967	0.090	0.0663	5.955	1.489%	19.2	37.094	9.664	5.078	0.525
1.233	0.120	0.0657	5.925	1.985%	20.6	37.282	9.615	5.420	0.564
1.517	0.150	0.0664	5.895	2.481%	22.1	37.472	9.567	5.786	0.605
1.783	0.180	0.0682	5.865	2.978%	22.8	37.664	9.518	5.939	0.624
2.333	0.240	0.0718	5.805	3.970%	23.6	38.053	9.421	6.084	0.646
2.867	0.300	0.0723	5.745	4.963%	24.0	38.450	9.323	6.123	0.657
3.383	0.360	0.0727	5.685	5.955%	24.1	38.856	9.226	6.085	0.660
3.433	0.480	0.0726	5.565	7.940%	24.3	39.694	9.031	6.006	0.665
5.433	0.600	0.0724	5.445	9.926%	24.3	40.569	8.836	5.876	0.665
6.467	0.720	0.0695	5.325	11.911%	23.5	41.483	8.642	5.557	0.643
7.467	0.840	0.0704	5.205	13.896%	23.1	42.439	8.447	5.340	0.632
8.500	0.960	0.0713	5.085	15.881%	22.5	43.441	8.252	5.081	0.616
9.517	1.080	0.0760	4.965	17.866%	21.8	44.491	8.057	4.807	0.597
10.533	1.200	0.0824	4.845	19.851%	20.7	45.593	7.863	4.454	0.566

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.233	0.006	1.1194	6.028	0.099%	5.9	36.457	19.600	1.588	0.081
0.300	0.012	1.1180	6.022	0.199%	11.9	36.494	19.581	3.199	0.163
0.367	0.018	1.1176	6.016	0.298%	14.2	36.530	19.561	3.813	0.195
0.417	0.024	1.1167	6.010	0.398%	15.3	36.567	19.542	4.105	0.210
0.467	0.030	1.1100	6.004	0.497%	17.6	36.603	19.522	4.717	0.242
0.750	0.060	1.1152	5.974	0.994%	24.0	36.787	19.425	6.400	0.329
1.017	0.090	1.1150	5.944	1.492%	26.9	36.973	19.327	7.137	0.369
1.283	0.120	1.1147	5.914	1.989%	28.5	37.160	19.230	7.524	0.391
1.550	0.150	1.1144	5.884	2.486%	29.7	37.350	19.132	7.801	0.408
1.833	0.180	1.1191	5.854	2.983%	30.2	37.541	19.035	7.892	0.415
2.367	0.240	1.1124	5.794	3.977%	31.6	37.930	18.840	8.173	0.434
2.867	0.300	1.1094	5.734	4.972%	32.2	38.327	18.645	8.242	0.442
3.367	0.360	1.1052	5.674	5.966%	32.5	38.732	18.449	8.232	0.446
4.417	0.480	1.0774	5.554	7.955%	33.1	39.569	18.059	8.206	0.454
5.433	0.600	1.0911	5.434	9.944%	33.5	40.443	17.669	8.126	0.460
6.367	0.720	1.0837	5.314	11.932%	33.3	41.356	17.279	7.899	0.457
7.433	0.840	1.0769	5.194	13.921%	32.8	42.311	16.889	7.605	0.450
8.467	0.960	1.0711	5.074	15.910%	32.8	43.312	16.498	7.429	0.450
9.450	1.080	1.0689	4.954	17.899%	32.0	44.361	16.108	7.076	0.439
10.483	1.200	1.0610	4.834	19.887%	31.4	45.462	15.718	6.776	0.431



<b>Esfuerzos máximos, (Kpa)</b>	0.5	1	2
<b>Esfuerzo, <math>\sigma</math></b>	4.9	9.8	19.6
<b>Esfuerzo, <math>\tau</math></b>	4.7	6.1	8.2



<b>ANGULO DE FRICCIÓN</b>	<b>COHESIÓN (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
13.84	0.0372

## Apique 7

### APIQUE 7 - CORTE DIRECTO

ENSAYO		ENSAYO		ENSAYO	
Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU
Carga Normal, (Kg)	1.8	Carga Normal, (Kg)	3.7	Carga Normal, (Kg)	7.4
Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.500	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.000	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.000

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.249
Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.036
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.090
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.759
Volumen (cm <sup>3</sup> )	82.672
Peso total, (g)	173.68

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.224
Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.036
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.090
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.759
Volumen (cm <sup>3</sup> )	81.753
Peso total, (g)	172.37

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.263
Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.047
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.089
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.820
Volumen (cm <sup>3</sup> )	83.324
Peso total, (g)	172.73

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	23
Peso Pla. + mh (g)	203.88
Peso Pla. + ms (g)	171.20
Platon (g)	30.20
W	23.18%

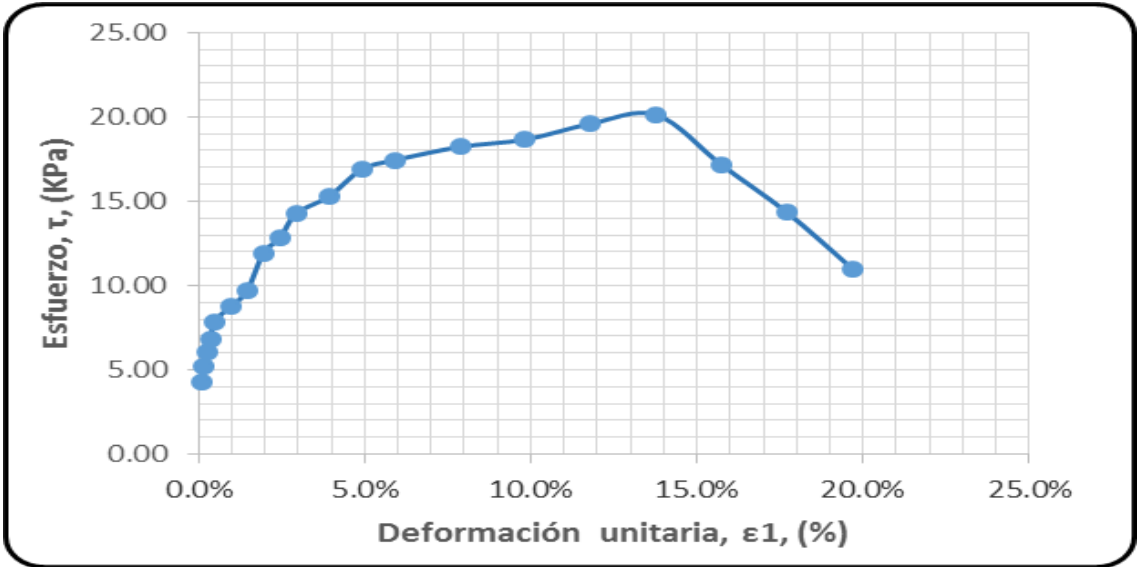
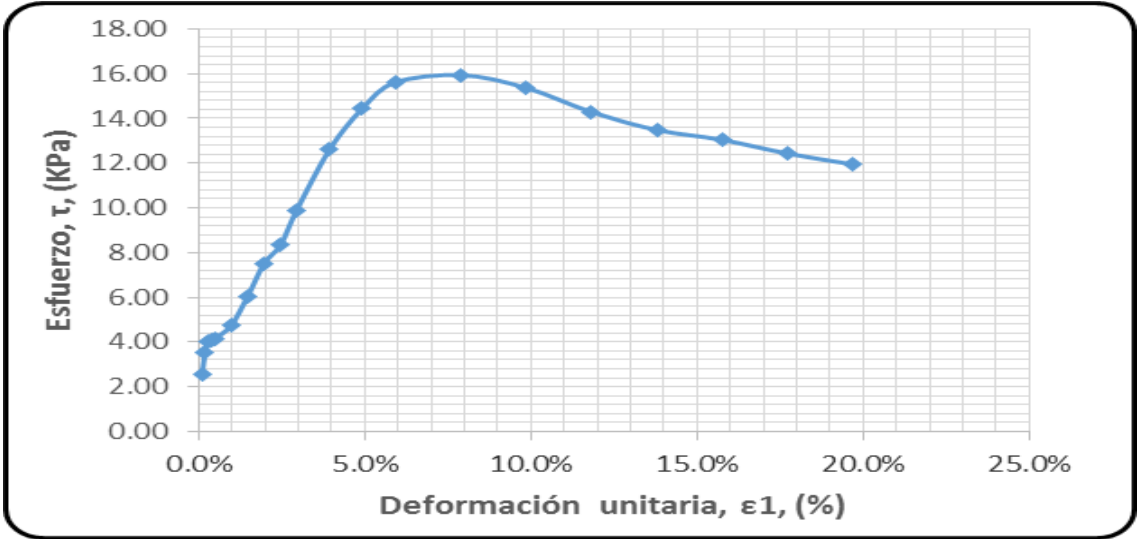
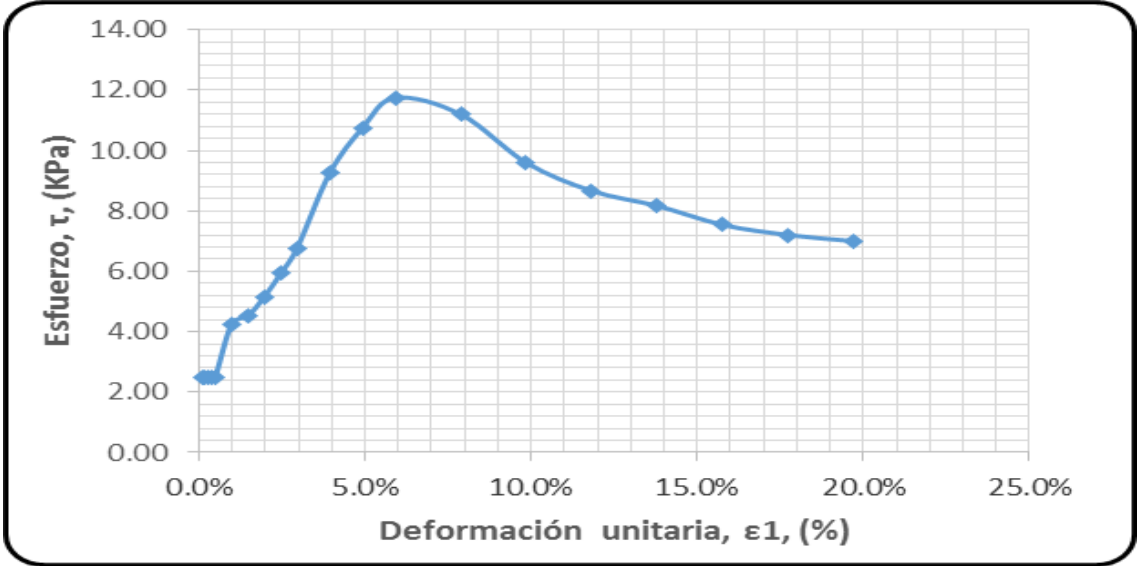
CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	165
Peso Pla. + mh (g)	211.67
Peso Pla. + ms (g)	176.20
Platon (g)	39.30
W	25.91%

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	156
Peso Pla. + mh (g)	212.36
Peso Pla. + ms (g)	178.40
Platon (g)	39.63
W	24.47%

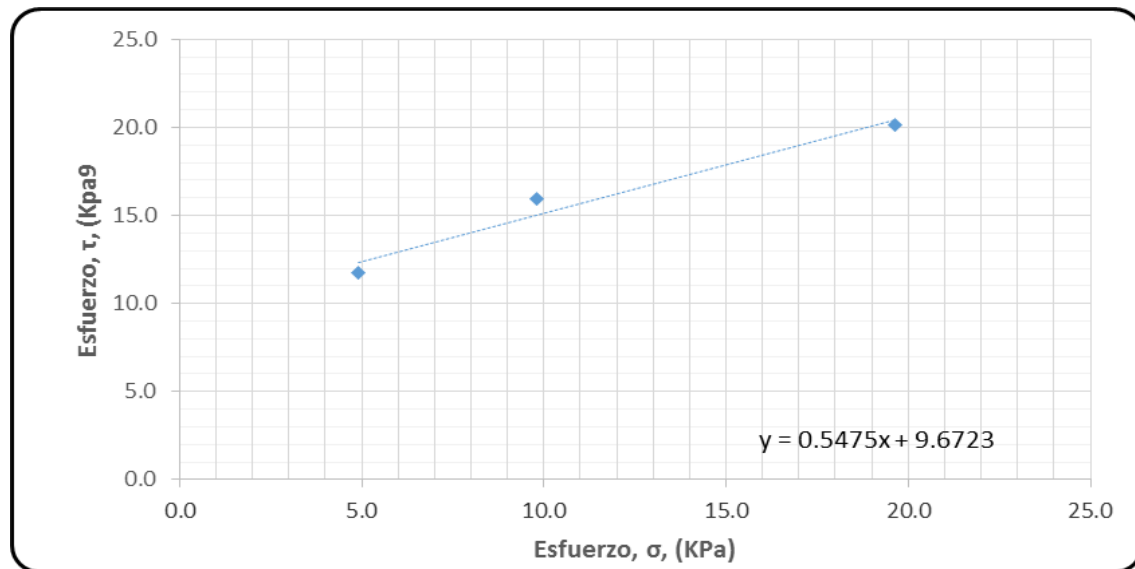
Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, ε <sub>t</sub> , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, σ, (KPa)	Esfuerzo, τ, (KPa)	τ/σ
0.833	0.006	0.0042	6.084	0.099%	9.31	36.795	4.900	2.482	0.507
0.883	0.012	0.0043	6.078	0.197%	9.35	36.832	4.895	2.490	0.509
0.933	0.018	0.0045	6.072	0.296%	9.38	36.868	4.891	2.496	0.510
0.950	0.024	0.0044	6.066	0.394%	9.43	36.905	4.886	2.507	0.513
1.000	0.030	0.0047	6.060	0.493%	9.45	36.941	4.881	2.510	0.514
1.317	0.060	0.0080	6.030	0.985%	16.09	37.125	4.857	4.252	0.875
1.550	0.090	0.0086	6.000	1.478%	17.22	37.311	4.833	4.528	0.937
1.783	0.120	0.0098	5.970	1.970%	19.73	37.498	4.808	5.162	1.073
2.050	0.150	0.0106	5.940	2.463%	22.77	37.688	4.784	5.926	1.239
2.283	0.180	0.0110	5.910	2.956%	26.13	37.879	4.760	6.767	1.422
2.767	0.240	0.0094	5.850	3.941%	36.11	38.267	4.712	9.257	1.965
3.250	0.300	0.0023	5.790	4.926%	42.39	38.664	4.663	10.755	2.306
3.767	0.360	0.0096	5.730	5.911%	46.80	39.069	4.615	11.751	2.546
4.750	0.480	0.0327	5.610	7.882%	45.56	39.904	4.518	11.200	2.479
5.617	0.600	0.0515	5.490	9.852%	39.89	40.777	4.422	9.597	2.170
6.500	0.720	0.0639	5.370	11.823%	36.82	41.688	4.325	8.664	2.003
7.417	0.840	0.0740	5.250	13.793%	35.51	42.641	4.228	8.169	1.932
8.267	0.960	0.0816	5.130	15.764%	33.5	43.638	4.132	7.540	1.825
9.150	1.080	0.0854	5.010	17.734%	32.8	44.683	4.035	7.203	1.785
10.033	1.200	0.0877	4.890	19.704%	32.7	45.780	3.938	7.003	1.778

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, ( $\text{cm}^2$ )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.750	0.006	0.1509	6.084	0.099%	9.48	36.795	9.800	2.527	0.258
0.783	0.012	0.1475	6.078	0.197%	13.22	36.832	9.791	3.521	0.360
0.883	0.018	0.1417	6.072	0.296%	15.05	36.868	9.781	4.005	0.409
0.933	0.024	0.1396	6.066	0.394%	15.39	36.905	9.771	4.091	0.419
1.050	0.030	0.1397	6.060	0.493%	15.69	36.941	9.762	4.167	0.427
1.267	0.060	0.1383	6.030	0.985%	17.99	37.125	9.713	4.754	0.489
1.600	0.090	0.1335	6.000	1.478%	23.00	37.311	9.665	6.047	0.626
1.867	0.120	0.1284	5.970	1.970%	28.70	37.498	9.617	7.508	0.781
2.117	0.150	0.1253	5.940	2.463%	32.04	37.688	9.568	8.340	0.872
2.383	0.180	0.1253	5.910	2.956%	38.25	37.879	9.520	9.906	1.041
2.867	0.240	0.1264	5.850	3.941%	49.20	38.267	9.423	12.613	1.338
3.350	0.300	0.1361	5.790	4.926%	56.91	38.664	9.327	14.440	1.548
3.867	0.360	0.1465	5.730	5.911%	62.18	39.069	9.230	15.613	1.692
4.817	0.480	0.1673	5.610	7.882%	64.85	39.904	9.037	15.943	1.764
5.717	0.600	0.1835	5.490	9.852%	63.89	40.777	8.843	15.371	1.738
6.617	0.720	0.1957	5.370	11.823%	60.71	41.688	8.650	14.286	1.652
7.517	0.840	0.2016	5.250	13.793%	58.61	42.641	8.457	13.484	1.594
8.400	0.960	0.2078	5.130	15.764%	58.01	43.638	8.264	13.041	1.578
9.283	1.080	0.2128	5.010	17.734%	56.61	44.683	8.070	12.428	1.540
10.167	1.200	0.2189	4.890	19.704%	55.74	45.780	7.877	11.944	1.516

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, ( $\text{cm}^2$ )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.617	0.006	5.8952	6.084	0.082%	16.00	36.789	19.636	4.266	0.217
0.650	0.012	5.8892	6.078	0.181%	19.45	36.826	19.617	5.181	0.264
0.767	0.018	5.8832	6.072	0.279%	22.63	36.862	19.598	6.022	0.307
0.867	0.024	5.8772	6.066	0.378%	25.74	36.899	19.578	6.843	0.350
0.983	0.030	5.8712	6.060	0.476%	29.63	36.935	19.559	7.870	0.402
1.150	0.060	5.8412	6.030	0.969%	33.14	37.119	19.462	8.758	0.450
1.250	0.090	5.8112	6.000	1.462%	36.89	37.305	19.365	9.701	0.501
1.633	0.120	5.7812	5.970	1.954%	45.63	37.492	19.268	11.939	0.620
1.933	0.150	5.7512	5.940	2.447%	49.23	37.681	19.172	12.817	0.669
2.267	0.180	5.7212	5.910	2.940%	55.12	37.873	19.075	14.278	0.749
2.817	0.240	5.6612	5.850	3.925%	59.63	38.261	18.881	15.289	0.810
3.083	0.300	5.6012	5.790	4.910%	66.56	38.658	18.687	16.891	0.904
3.583	0.360	5.5412	5.730	5.896%	69.40	39.062	18.494	17.429	0.942
4.633	0.480	5.4212	5.610	7.867%	74.12	39.898	18.107	18.224	1.007
5.267	0.600	5.3012	5.490	9.837%	77.56	40.770	17.719	18.662	1.053
6.150	0.720	0.5172	5.370	11.808%	83.26	41.681	17.332	19.596	1.131
7.250	0.840	0.5134	5.250	13.779%	87.45	42.634	16.945	20.122	1.188
8.150	0.960	0.5103	5.130	15.750%	76.23	43.631	16.557	17.140	1.035
8.933	1.080	0.5063	5.010	17.720%	65.23	44.676	16.170	14.323	0.886
9.950	1.200	0.5037	4.890	19.691%	51.20	45.772	15.783	10.973	0.695



Esfuerzos máximos, (Kpa)	0.5	1	2
Esfuerzo, $\sigma$	4.9	9.8	19.6
Esfuerzo, $\tau$	11.8	15.9	20.1



ANGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )
34.93	0.0986

## Apique 8

### APIQUE 8 - CORTE DIRECTO

ENSAYO		ENSAYO		ENSAYO	
Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU
Carga Normal, (Kg)	1.8	Carga Normal, (Kg)	3.6	Carga Normal, (Kg)	7.3
Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.500	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.000	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.000

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.245
Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.047
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.052
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.596
Volumen (cm <sup>3</sup> )	82.159
Peso total, (g)	171.20

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.195
Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.032
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.029
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.367
Volumen (cm <sup>3</sup> )	79.825
Peso total, (g)	171.80

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.205
Ancho, An <sub>0</sub> , (cm)	6.035
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.035
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.421
Volumen (cm <sup>3</sup> )	80.309
Peso total, (g)	172.40

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	Q12
Peso Pla. + mh (g)	213.30
Peso Pla. + ms (g)	200.40
Platon (g)	42.10
W	8.15%

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	M3
Peso Pla. + mh (g)	210.30
Peso Pla. + ms (g)	197.20
Platon (g)	38.50
W	8.25%

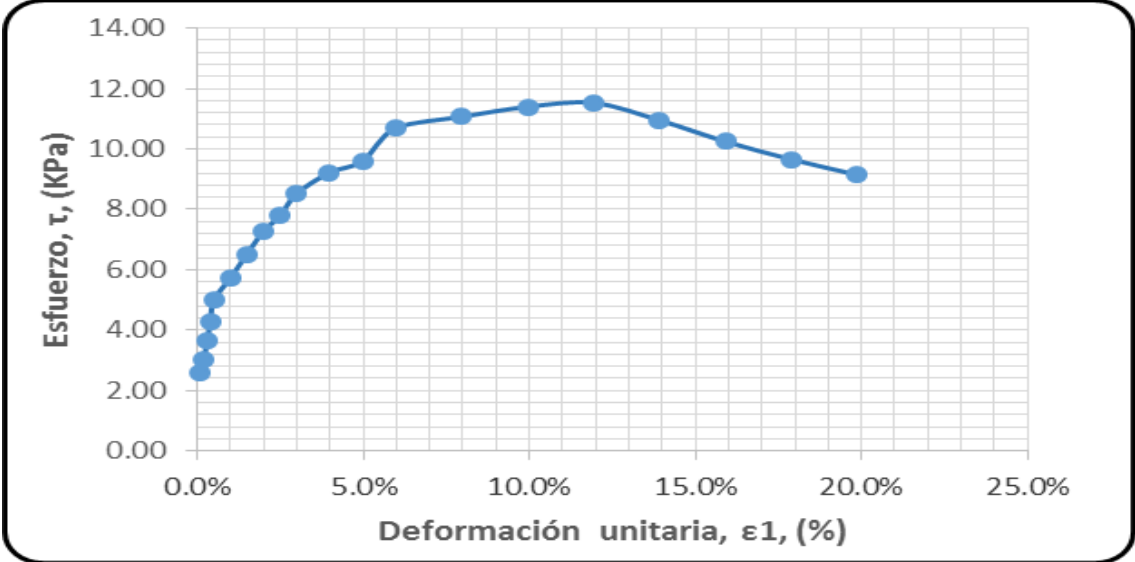
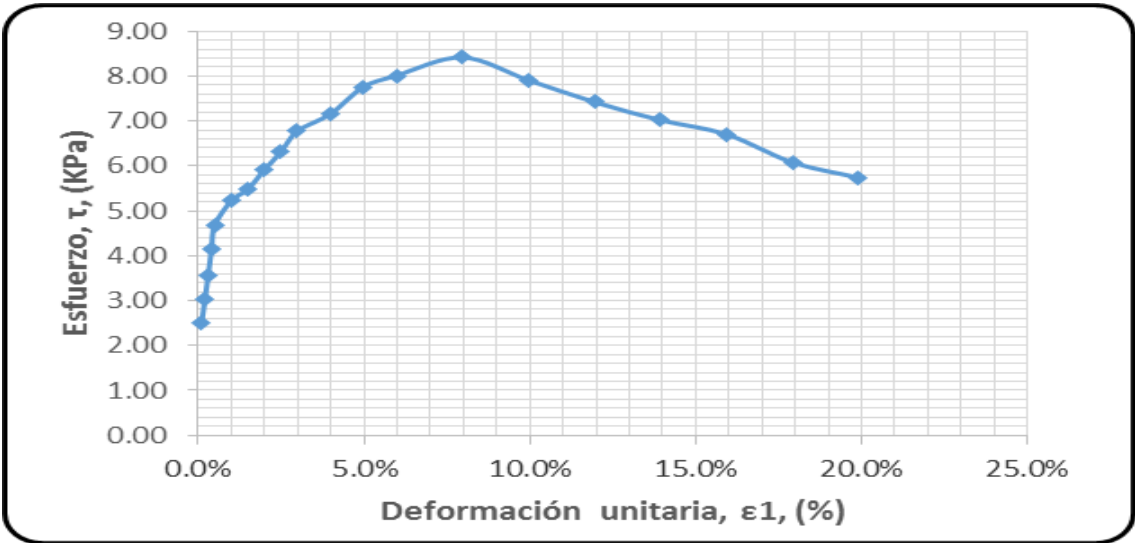
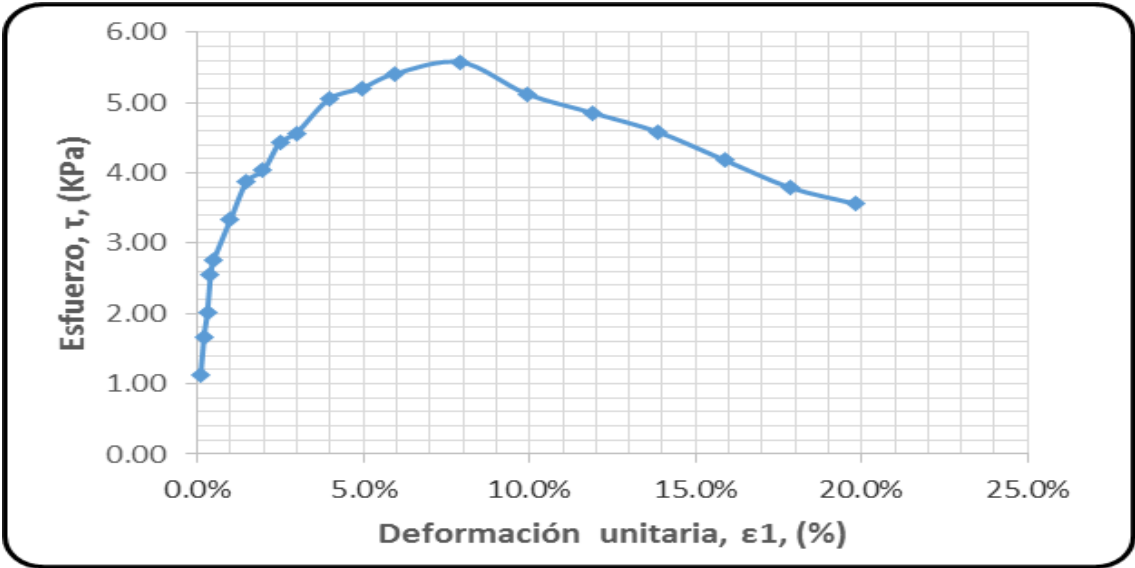
CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	F4
Peso Pla. + mh (g)	209.30
Peso Pla. + ms (g)	196.30
Platon (g)	36.90
W	8.16%

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, ε <sub>1</sub> , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, σ, (KPa)	Esfuerzo, τ, (KPa)	τ/σ
0.367	0.006	0.8722	6.046	0.099%	4.2	36.633	4.900	1.133	0.231
0.417	0.012	0.8662	6.040	0.198%	6.3	36.669	4.895	1.672	0.342
0.483	0.018	0.8602	6.034	0.297%	7.6	36.706	4.890	2.020	0.413
0.533	0.024	0.8542	6.028	0.397%	9.6	36.742	4.886	2.552	0.522
0.533	0.030	0.8482	6.022	0.496%	10.4	36.779	4.881	2.763	0.566
0.883	0.060	0.8182	5.992	0.991%	12.6	36.963	4.856	3.333	0.686
1.167	0.090	0.7882	5.962	1.487%	14.7	37.149	4.832	3.879	0.803
1.450	0.120	0.7582	5.932	1.983%	15.4	37.337	4.808	4.036	0.839
1.733	0.150	0.7282	5.902	2.479%	17.0	37.527	4.783	4.439	0.928
2.000	0.180	0.6982	5.872	2.974%	17.6	37.718	4.759	4.567	0.960
2.533	0.240	0.6382	5.812	3.966%	19.6	38.108	4.710	5.053	1.073
3.067	0.300	0.5782	5.752	4.957%	20.5	38.505	4.662	5.210	1.118
3.600	0.360	0.5182	5.692	5.948%	21.5	38.911	4.613	5.413	1.173
4.667	0.480	0.3982	5.572	7.931%	22.6	39.749	4.516	5.578	1.235
5.517	0.600	0.2782	5.452	9.914%	21.2	40.624	4.419	5.127	1.160
7.600	0.720	0.4942	5.332	11.897%	20.6	41.538	4.321	4.856	1.124
9.817	0.840	0.4904	5.212	13.880%	19.9	42.495	4.224	4.582	1.085
10.417	0.960	0.4873	5.092	15.863%	18.6	43.496	4.127	4.186	1.014
11.617	1.080	0.4833	4.972	17.845%	17.2	44.546	4.030	3.794	0.942
11.867	1.200	0.4807	4.852	19.828%	16.6	45.648	3.932	3.559	0.905

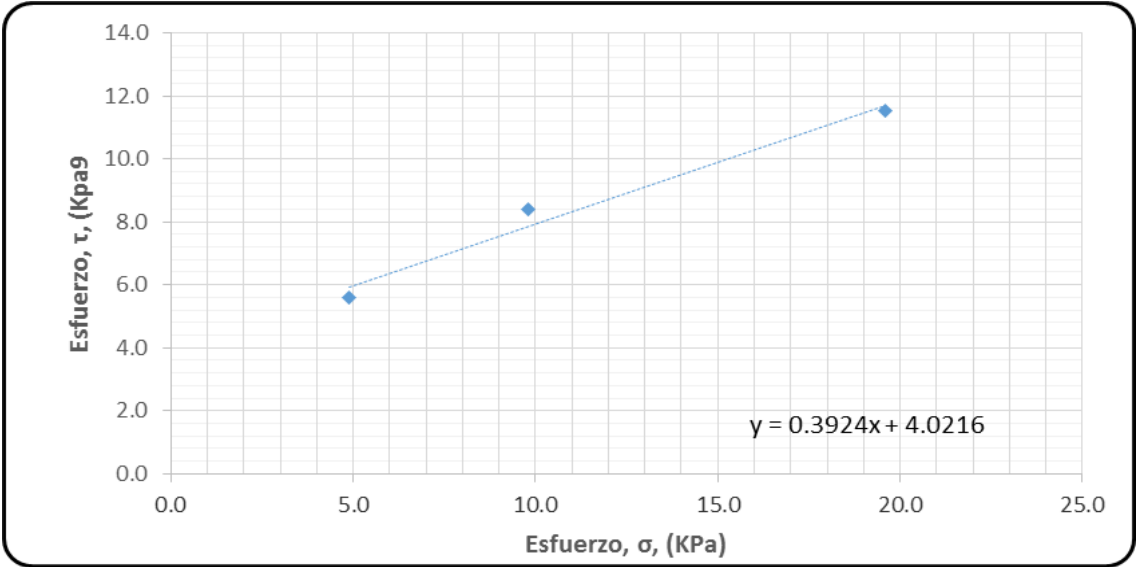


Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.000	0.006	0.2342	6.023	0.100%	9.3	36.403	9.800	2.506	0.256
0.300	0.012	0.2343	6.017	0.199%	11.2	36.439	9.790	3.023	0.309
0.383	0.018	0.2345	6.011	0.299%	13.3	36.476	9.781	3.566	0.365
0.450	0.024	0.2344	6.005	0.398%	15.5	36.512	9.771	4.156	0.425
0.500	0.030	0.2347	5.999	0.498%	17.5	36.549	9.761	4.684	0.480
0.783	0.060	0.2380	5.969	0.995%	19.6	36.732	9.712	5.224	0.538
1.067	0.090	0.2386	5.939	1.493%	20.6	36.918	9.664	5.482	0.567
1.367	0.120	0.2398	5.909	1.990%	22.4	37.105	9.615	5.912	0.615
1.633	0.150	0.2406	5.879	2.488%	24.0	37.295	9.566	6.308	0.659
1.883	0.180	0.2410	5.849	2.986%	25.9	37.486	9.517	6.775	0.712
2.417	0.240	0.2394	5.789	3.981%	27.6	37.875	9.419	7.157	0.760
2.917	0.300	0.2323	5.729	4.976%	30.3	38.271	9.322	7.756	0.832
3.400	0.360	0.2396	5.669	5.971%	31.6	38.676	9.224	8.010	0.868
4.433	0.480	0.2627	5.549	7.962%	33.9	39.513	9.029	8.417	0.932
5.433	0.600	0.2815	5.429	9.952%	32.6	40.386	8.834	7.909	0.895
6.450	0.720	0.2939	5.309	11.942%	31.3	41.299	8.638	7.423	0.859
7.400	0.840	0.3040	5.189	13.933%	30.2	42.254	8.443	7.018	0.831
8.300	0.960	0.3116	5.069	15.923%	29.6	43.254	8.248	6.704	0.813
8.933	1.080	0.3154	4.949	17.913%	27.5	44.303	8.053	6.078	0.755
10.033	1.200	0.3177	4.829	19.904%	26.6	45.404	7.857	5.739	0.730

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.400	0.006	0.0531	6.029	0.099%	9.69	36.457	19.600	2.607	0.133
0.483	0.012	0.0497	6.023	0.199%	11.23	36.494	19.581	3.019	0.154
0.533	0.018	0.0439	6.017	0.298%	13.65	36.530	19.561	3.666	0.187
0.617	0.024	0.0418	6.011	0.398%	15.98	36.567	19.542	4.287	0.219
0.717	0.030	0.0419	6.005	0.497%	18.63	36.603	19.522	4.993	0.256
1.017	0.060	0.0405	5.975	0.994%	21.45	36.787	19.425	5.720	0.294
1.300	0.090	0.0357	5.945	1.491%	24.56	36.973	19.327	6.517	0.337
1.567	0.120	0.0306	5.915	1.988%	27.53	37.160	19.230	7.268	0.378
1.850	0.150	0.0275	5.885	2.486%	29.63	37.350	19.132	7.782	0.407
2.117	0.180	0.0275	5.855	2.983%	32.56	37.541	19.035	8.508	0.447
2.617	0.240	0.0286	5.795	3.977%	35.63	37.930	18.840	9.215	0.489
3.083	0.300	0.0383	5.735	4.971%	37.49	38.326	18.645	9.596	0.515
3.583	0.360	0.0487	5.675	5.965%	42.16	38.732	18.450	10.678	0.579
4.617	0.480	0.0695	5.555	7.954%	44.63	39.568	18.060	11.065	0.613
5.617	0.600	0.0857	5.435	9.942%	46.98	40.442	17.669	11.396	0.645
6.633	0.720	0.0979	5.315	11.930%	48.60	41.355	17.279	11.529	0.667
7.633	0.840	0.1038	5.195	13.919%	47.23	42.310	16.889	10.951	0.648
8.683	0.960	0.1100	5.075	15.907%	45.23	43.311	16.499	10.245	0.621
9.700	1.080	0.1150	4.955	17.896%	43.65	44.360	16.109	9.653	0.599
10.750	1.200	0.1211	4.835	19.884%	42.36	45.461	15.719	9.141	0.582



<b>Esfuerzos máximos, (Kpa)</b>	0.5	1	2
<b>Esfuerzo, <math>\sigma</math></b>	4.9	9.8	19.6
<b>Esfuerzo, <math>\tau</math></b>	5.6	8.4	11.5



<b>ANGULO DE FRICCIÓN</b>	<b>COHESIÓN (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
23.71	0.0410

## Apique 9

### APIQUE 1 - CORTE DIRECTO

ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU
Carga Normal, (Kg)	1.8	Carga Normal, (Kg)	3.6	Carga Normal, (Kg)	7.3
Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.500	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.000	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.000

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.215
Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.045
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.042
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.524
Volumen (cm <sup>3</sup> )	80.900
Peso total, (g)	172.50

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.236
Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.035
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.034
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.415
Volumen (cm <sup>3</sup> )	81.424
Peso total, (g)	173.60

DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.189
Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.023
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.024
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.283
Volumen (cm <sup>3</sup> )	79.423
Peso total, (g)	172.50

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	D1
Peso Pla. + mh (g)	239.70
Peso Pla. + ms (g)	225.30
Platon (g)	67.20
W	9.11%

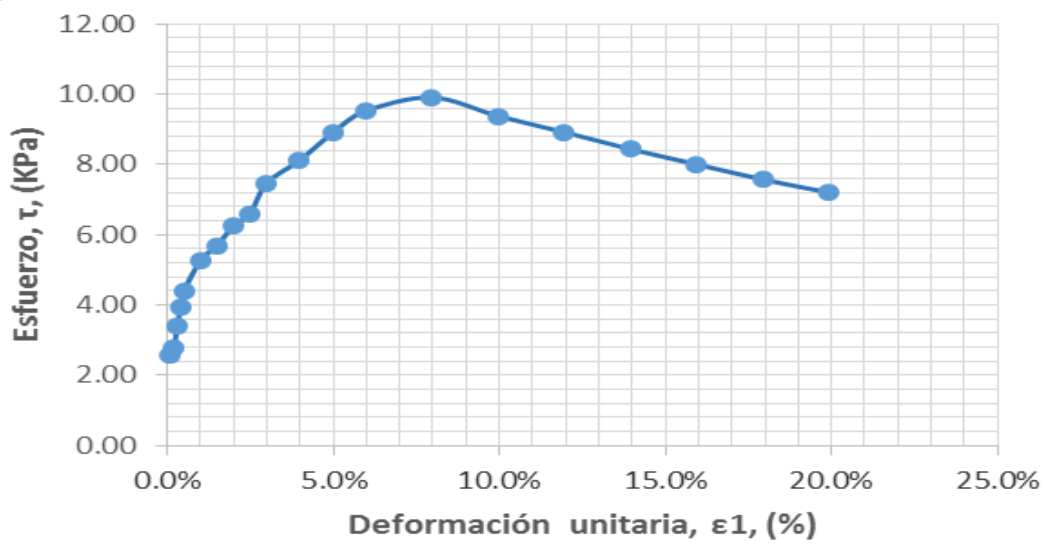
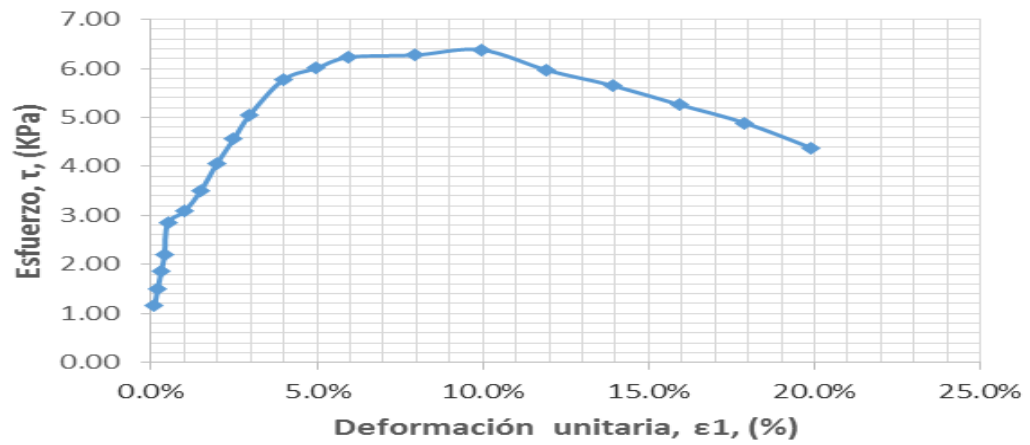
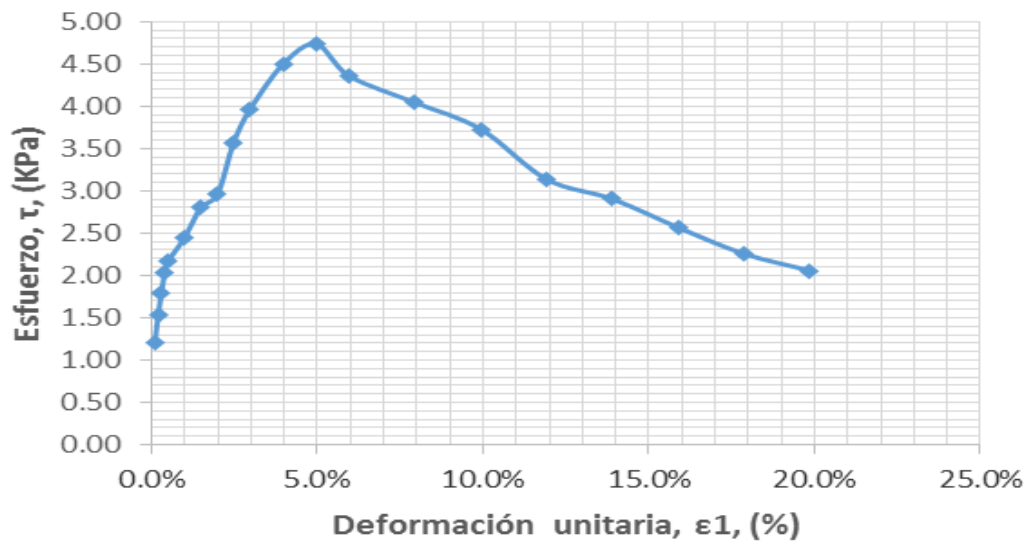
CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	D3
Peso Pla. + mh (g)	238.80
Peso Pla. + ms (g)	224.50
Platon (g)	65.20
W	8.98%

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	H2
Peso Pla. + mh (g)	209.10
Peso Pla. + ms (g)	195.30
Platon (g)	36.60
W	8.70%

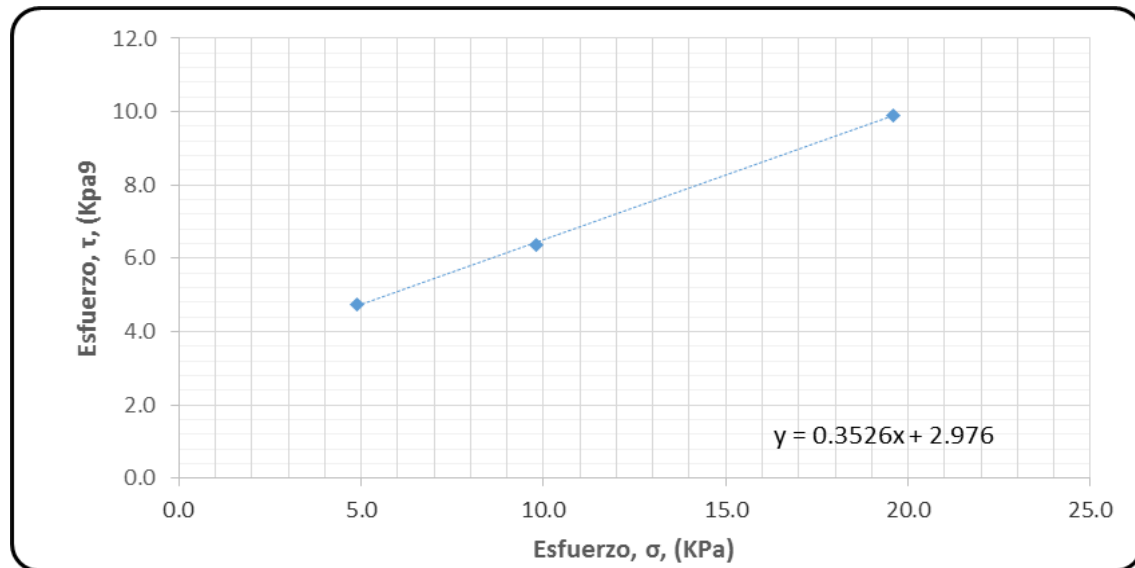
Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, ε <sub>i</sub> , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, σ, (KPa)	Esfuerzo, τ, (KPa)	τ/σ
0.150	0.006	0.0042	6.036	0.099%	4.50	36.560	4.900	1.207	0.246
0.217	0.012	0.0043	6.030	0.199%	5.70	36.597	4.895	1.528	0.312
0.300	0.018	0.0045	6.024	0.298%	6.70	36.633	4.890	1.794	0.367
0.383	0.024	0.0044	6.018	0.397%	7.60	36.670	4.886	2.033	0.416
0.417	0.030	0.0047	6.012	0.497%	8.10	36.706	4.881	2.165	0.444
0.750	0.060	0.0080	5.982	0.993%	9.20	36.890	4.856	2.447	0.504
1.000	0.090	0.0086	5.952	1.490%	10.60	37.076	4.832	2.805	0.580
1.250	0.120	0.0098	5.922	1.986%	11.23	37.264	4.808	2.956	0.615
1.500	0.150	0.0106	5.892	2.483%	13.65	37.454	4.783	3.575	0.747
1.767	0.180	0.0110	5.862	2.979%	15.23	37.645	4.759	3.969	0.834
2.283	0.240	0.0094	5.802	3.972%	17.45	38.035	4.710	4.501	0.956
2.800	0.300	0.0023	5.742	4.965%	18.56	38.432	4.661	4.738	1.016
3.300	0.360	0.0096	5.682	5.958%	17.26	38.838	4.613	4.360	0.945
4.350	0.480	0.0327	5.562	7.944%	16.36	39.676	4.515	4.045	0.896
5.367	0.600	0.0515	5.442	9.930%	15.42	40.551	4.418	3.730	0.844
6.383	0.720	0.0639	5.322	11.917%	13.26	41.465	4.320	3.137	0.726
7.383	0.840	0.0740	5.202	13.903%	12.56	42.422	4.223	2.904	0.688
8.433	0.960	0.0816	5.082	15.889%	11.4	43.423	4.126	2.566	0.622
9.450	1.080	0.0854	4.962	17.875%	10.2	44.473	4.028	2.257	0.560
10.483	1.200	0.0877	4.842	19.861%	9.6	45.576	3.931	2.058	0.523

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.067	0.006	0.1509	6.028	0.099%	4.30	36.451	9.800	1.157	0.118
0.150	0.012	0.1475	6.022	0.199%	5.60	36.488	9.790	1.506	0.154
0.233	0.018	0.1417	6.016	0.298%	6.90	36.524	9.781	1.853	0.189
0.300	0.024	0.1396	6.010	0.398%	8.20	36.561	9.771	2.200	0.225
0.350	0.030	0.1397	6.004	0.497%	10.60	36.597	9.761	2.841	0.291
0.633	0.060	0.1383	5.974	0.994%	11.56	36.781	9.712	3.083	0.317
0.883	0.090	0.1335	5.944	1.492%	13.20	36.967	9.664	3.503	0.362
1.133	0.120	0.1284	5.914	1.989%	15.40	37.154	9.615	4.066	0.423
1.383	0.150	0.1253	5.884	2.486%	17.36	37.344	9.566	4.560	0.477
1.667	0.180	0.1253	5.854	2.983%	19.36	37.535	9.517	5.060	0.532
2.183	0.240	0.1264	5.794	3.977%	22.30	37.924	9.420	5.769	0.612
2.717	0.300	0.1361	5.734	4.972%	23.45	38.320	9.322	6.003	0.644
3.200	0.360	0.1465	5.674	5.966%	24.60	38.726	9.225	6.232	0.676
4.233	0.480	0.1673	5.554	7.955%	25.30	39.562	9.030	6.273	0.695
5.267	0.600	0.1835	5.434	9.944%	26.30	40.436	8.835	6.381	0.722
6.283	0.720	0.1957	5.314	11.932%	25.14	41.349	8.639	5.964	0.690
7.283	0.840	0.2016	5.194	13.921%	24.36	42.304	8.444	5.649	0.669
8.317	0.960	0.2078	5.074	15.910%	23.23	43.305	8.249	5.262	0.638
9.333	1.080	0.2128	4.954	17.899%	22.10	44.354	8.054	4.888	0.607
10.350	1.200	0.2189	4.834	19.887%	20.30	45.455	7.859	4.381	0.557

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.117	0.006	5.8952	6.018	0.100%	9.50	36.319	19.600	2.566	0.131
0.233	0.012	5.8892	6.012	0.199%	10.23	36.355	19.581	2.760	0.141
0.283	0.018	5.8832	6.006	0.299%	12.56	36.391	19.561	3.386	0.173
0.350	0.024	5.8772	6.000	0.398%	14.56	36.428	19.542	3.921	0.201
0.417	0.030	5.8712	5.994	0.498%	16.30	36.464	19.522	4.385	0.225
0.733	0.060	5.8412	5.964	0.996%	19.65	36.648	19.425	5.260	0.271
0.983	0.090	5.8112	5.934	1.494%	21.36	36.833	19.327	5.689	0.294
1.250	0.120	5.7812	5.904	1.992%	23.56	37.020	19.229	6.243	0.325
1.500	0.150	5.7512	5.874	2.490%	25.00	37.209	19.131	6.591	0.345
1.767	0.180	5.7212	5.844	2.988%	28.45	37.400	19.034	7.462	0.392
2.283	0.240	5.6612	5.784	3.984%	31.26	37.788	18.838	8.115	0.431
2.800	0.300	5.6012	5.724	4.980%	34.63	38.184	18.643	8.897	0.477
3.300	0.360	5.5412	5.664	5.976%	37.45	38.589	18.447	9.521	0.516
4.350	0.480	5.4212	5.544	7.968%	39.80	39.424	18.057	9.904	0.548
5.367	0.600	5.3012	5.424	9.960%	38.51	40.296	17.666	9.375	0.531
6.383	0.720	0.5172	5.304	11.952%	37.45	41.208	17.275	8.915	0.516
7.400	0.840	0.5134	5.184	13.944%	36.25	42.162	16.884	8.434	0.500
8.433	0.960	0.5103	5.064	15.936%	35.21	43.161	16.493	8.003	0.485
9.450	1.080	0.5063	4.944	17.928%	34.12	44.208	16.102	7.571	0.470
10.483	1.200	0.5037	4.824	19.920%	33.26	45.308	15.712	7.201	0.458



Esfuerzos máximos, (Kpa)	0.5	1	2
Esfuerzo, $\sigma$	4.9	9.8	19.6
Esfuerzo, $\tau$	4.7	6.4	9.9



ANGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )
21.08	0.0303

## Apique 10

### APIQUE 10 - CORTE DIRECTO

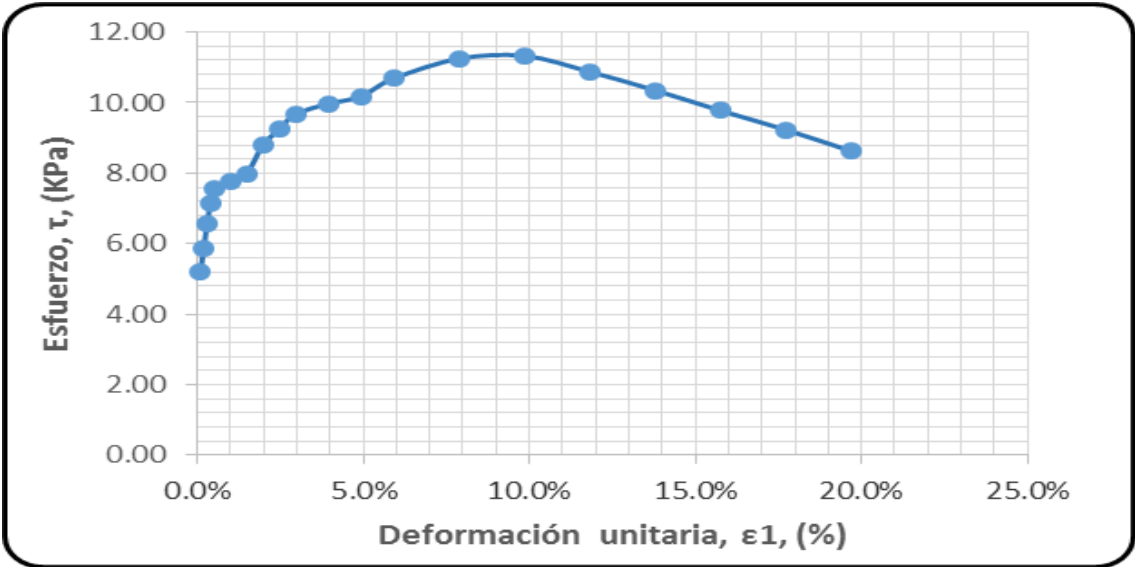
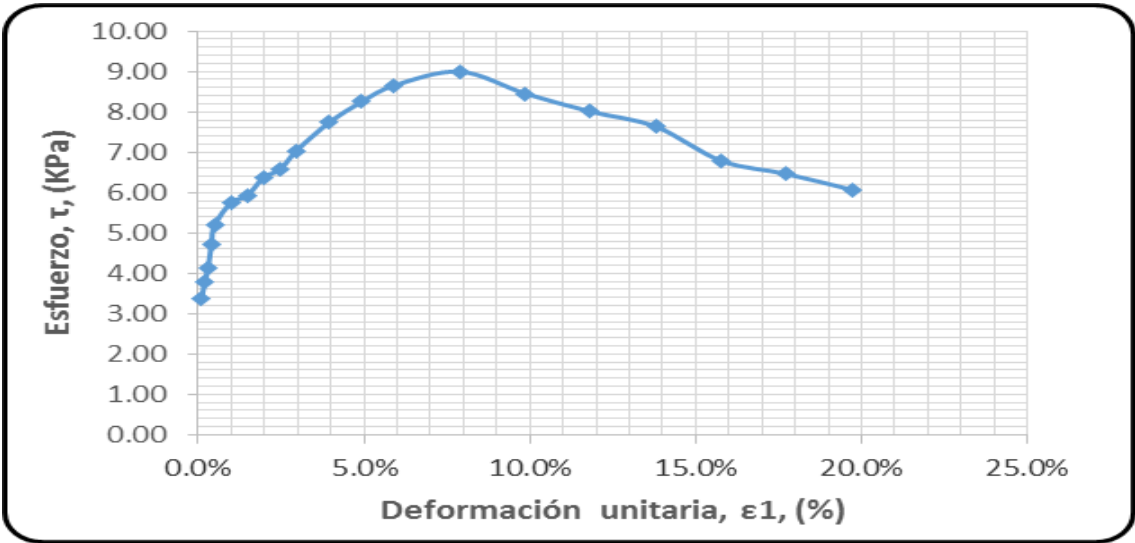
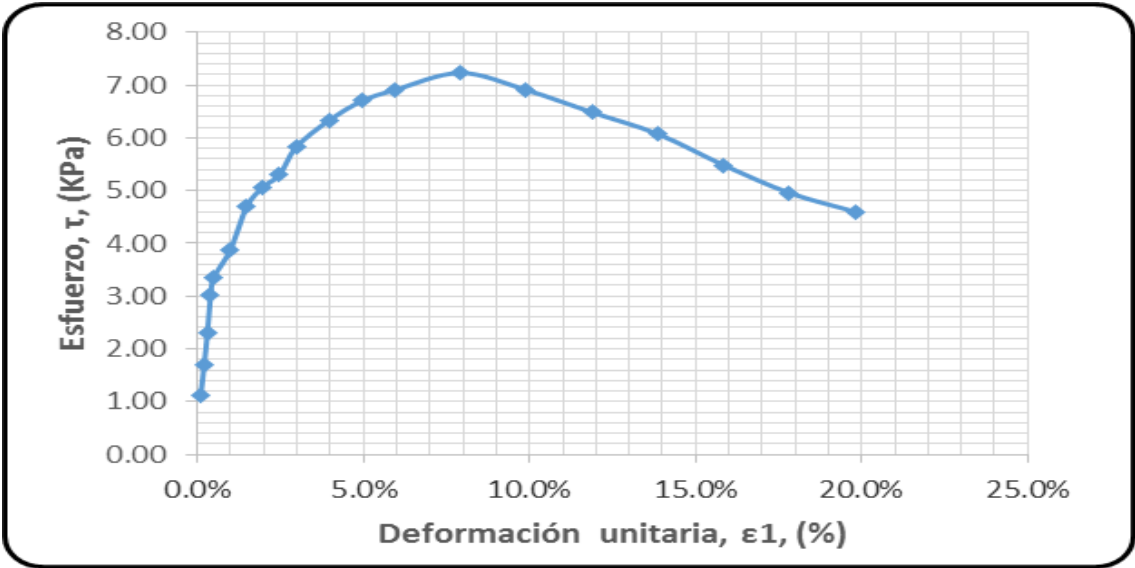
ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU	Tipo de ensayo	UU
Carga Normal, (Kg)	1.8	Carga Normal, (Kg)	3.7	Carga Normal, (Kg)	7.4
Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.500	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.000	Esffuerzo normal inicial, (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.000
DATOS DE LA MUESTRA		DATOS DE LA MUESTRA		DATOS DE LA MUESTRA	
Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.249	Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.216	Espesor, e <sub>0</sub> , (cm)	2.258
Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.039	Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.054	Ancho, A <sub>0</sub> , (cm)	6.054
Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.058	Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.087	Longitud, L <sub>0</sub> , (cm)	6.089
Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.584	Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.851	Área, A <sub>0</sub> , (cm <sup>2</sup> )	36.863
Volumen (cm <sup>3</sup> )	82.278	Volumen (cm <sup>3</sup> )	81.661	Volumen (cm <sup>3</sup> )	83.236
Peso total, (g)	173.70	Peso total, (g)	172.50	Peso total, (g)	172.50
CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD		CONTENIDO DE HUMEDAD	
Platon No	C	Platon No	S36	Platon No	369
Peso Pla. + mh (g)	286.00	Peso Pla. + mh (g)	297.80	Peso Pla. + mh (g)	209.50
Peso Pla. + ms (g)	267.30	Peso Pla. + ms (g)	278.20	Peso Pla. + ms (g)	192.30
Platon (g)	112.30	Platon (g)	125.30	Platon (g)	37.00
W	12.06%	W	12.82%	W	11.08%

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, ε <sub>i</sub> , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, σ, (KPa)	Esfuerzo, τ, (KPa)	τ/σ
0.733	0.006	0.0042	6.052	0.099%	4.2	36.621	4.900	1.125	0.230
0.783	0.012	0.0043	6.046	0.198%	6.3	36.657	4.895	1.686	0.344
0.833	0.018	0.0045	6.040	0.297%	8.6	36.693	4.890	2.299	0.470
0.883	0.024	0.0044	6.034	0.396%	11.3	36.730	4.886	3.018	0.618
0.967	0.030	0.0047	6.028	0.495%	12.6	36.766	4.881	3.362	0.689
1.250	0.060	0.0080	5.998	0.990%	14.6	36.950	4.856	3.876	0.798
1.550	0.090	0.0086	5.968	1.486%	17.8	37.136	4.832	4.702	0.973
1.817	0.120	0.0098	5.938	1.981%	19.3	37.324	4.808	5.073	1.055
2.083	0.150	0.0106	5.908	2.476%	20.3	37.513	4.784	5.309	1.110
2.333	0.180	0.0110	5.878	2.971%	22.4	37.705	4.759	5.828	1.225
2.850	0.240	0.0094	5.818	3.962%	24.6	38.093	4.711	6.335	1.345
3.333	0.300	0.0023	5.758	4.952%	26.3	38.490	4.662	6.703	1.438
3.850	0.360	0.0096	5.698	5.943%	27.4	38.896	4.614	6.911	1.498
4.867	0.480	0.0327	5.578	7.923%	29.3	39.732	4.516	7.234	1.602
5.883	0.600	0.0515	5.458	9.904%	28.6	40.606	4.419	6.909	1.564
6.900	0.720	0.0639	5.338	11.885%	27.5	41.519	4.322	6.486	1.501
7.917	0.840	0.0740	5.218	13.866%	26.3	42.474	4.225	6.074	1.438
8.967	0.960	0.0816	5.098	15.847%	24.3	43.473	4.128	5.483	1.328
9.983	1.080	0.0854	4.978	17.828%	22.5	44.521	4.031	4.958	1.230
11.050	1.200	0.0877	4.858	19.809%	21.4	45.621	3.933	4.602	1.170

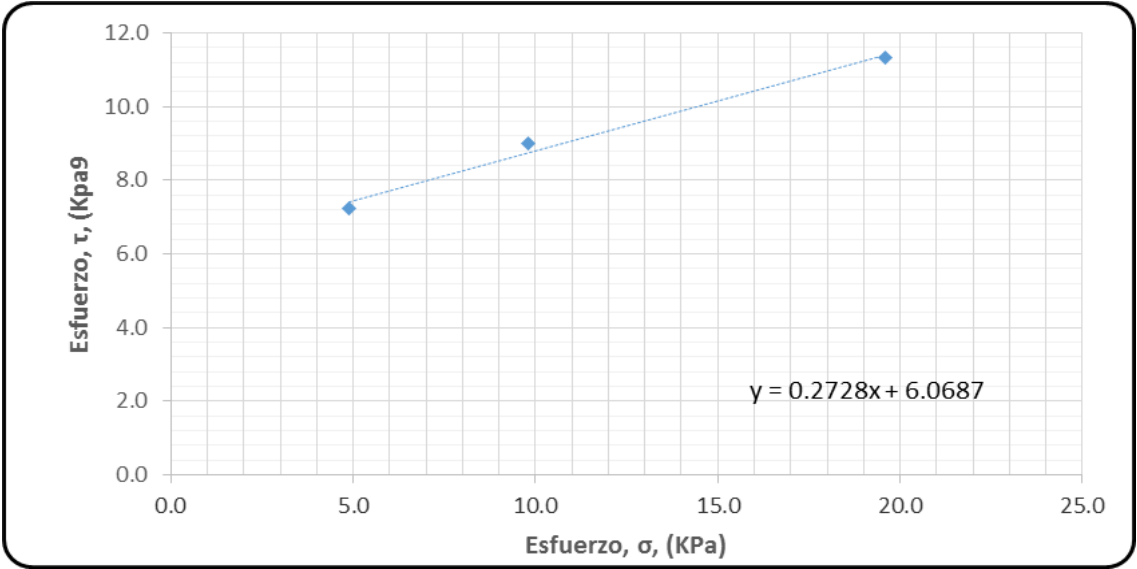


Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.167	0.006	0.1509	6.081	0.099%	12.7	36.887	9.800	3.378	0.345
0.300	0.012	0.1475	6.075	0.197%	14.3	36.923	9.791	3.799	0.388
0.383	0.018	0.1417	6.069	0.296%	15.6	36.960	9.781	4.141	0.423
0.467	0.024	0.1396	6.063	0.394%	17.8	36.997	9.771	4.720	0.483
0.483	0.030	0.1397	6.057	0.493%	19.6	37.033	9.762	5.192	0.532
0.550	0.060	0.1383	6.027	0.986%	21.8	37.218	9.713	5.746	0.592
0.750	0.090	0.1335	5.997	1.479%	22.6	37.404	9.665	5.927	0.613
1.050	0.120	0.1284	5.967	1.971%	24.5	37.592	9.617	6.381	0.663
1.317	0.150	0.1253	5.937	2.464%	25.3	37.782	9.568	6.569	0.687
1.517	0.180	0.1253	5.907	2.957%	27.2	37.974	9.520	7.035	0.739
1.750	0.240	0.1264	5.847	3.943%	30.3	38.363	9.423	7.735	0.821
2.200	0.300	0.1361	5.787	4.929%	32.6	38.761	9.327	8.251	0.885
2.817	0.360	0.1465	5.727	5.914%	34.6	39.167	9.230	8.656	0.938
3.300	0.480	0.1673	5.607	7.886%	36.7	40.005	9.036	8.999	0.996
3.450	0.600	0.1835	5.487	9.857%	35.2	40.880	8.843	8.454	0.956
4.150	0.720	0.1957	5.367	11.828%	34.1	41.794	8.650	8.009	0.926
4.967	0.840	0.2016	5.247	13.800%	33.3	42.750	8.456	7.632	0.903
5.417	0.960	0.2078	5.127	15.771%	30.3	43.751	8.263	6.785	0.821
7.267	1.080	0.2128	5.007	17.743%	29.5	44.799	8.069	6.460	0.801
8.683	1.200	0.2189	4.887	19.714%	28.4	45.899	7.876	6.070	0.771

Intervalo de Tiempo (min)	Dial de deformación Horizontal (cm)	Deformación Vertical (cm)	Delta deformación (cm)	Deformación Unitaria, $\epsilon_1$ , (%)	Carga Horizontal, (Kg)	Area corregida, (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo, $\sigma$ , (KPa)	Esfuerzo, $\tau$ , (KPa)	$\tau/\sigma$
0.217	0.006	5.8952	6.083	0.099%	19.60	36.899	19.601	5.211	0.266
0.350	0.012	5.8892	6.077	0.197%	22.15	36.936	19.581	5.883	0.300
0.433	0.018	5.8832	6.071	0.296%	24.69	36.972	19.562	6.551	0.335
0.517	0.024	5.8772	6.065	0.394%	26.90	37.009	19.543	7.130	0.365
0.583	0.030	5.8712	6.059	0.493%	28.47	37.045	19.523	7.539	0.386
0.933	0.060	5.8412	6.029	0.985%	29.50	37.230	19.427	7.773	0.400
1.200	0.090	5.8112	5.999	1.478%	30.40	37.416	19.330	7.971	0.412
1.517	0.120	5.7812	5.969	1.971%	33.69	37.604	19.233	8.789	0.457
1.783	0.150	5.7512	5.939	2.463%	35.60	37.794	19.137	9.241	0.483
2.050	0.180	5.7212	5.909	2.956%	37.45	37.986	19.040	9.672	0.508
2.600	0.240	5.6612	5.849	3.942%	39.00	38.375	18.847	9.970	0.529
3.117	0.300	5.6012	5.789	4.927%	40.23	38.773	18.653	10.179	0.546
3.483	0.360	5.5412	5.729	5.912%	42.69	39.179	18.460	10.689	0.579
4.483	0.480	5.4212	5.609	7.883%	45.90	40.017	18.073	11.252	0.623
5.583	0.600	5.3012	5.489	9.854%	47.23	40.892	17.687	11.330	0.641
6.617	0.720	0.5172	5.369	11.825%	46.36	41.806	17.300	10.879	0.629
6.967	0.840	0.5134	5.249	13.795%	45.12	42.762	16.913	10.351	0.612
7.817	0.960	0.5103	5.129	15.766%	43.60	43.762	16.527	9.774	0.591
9.750	1.080	0.5063	5.009	17.737%	42.15	44.811	16.140	9.227	0.572
10.567	1.200	0.5037	4.889	19.708%	40.36	45.911	15.753	8.624	0.547



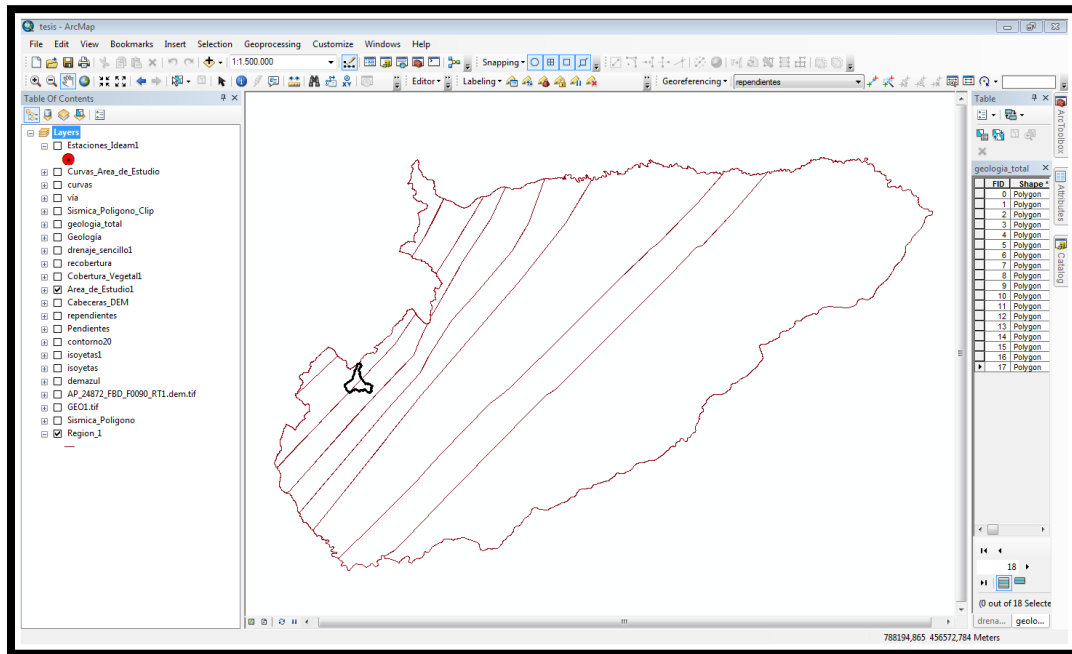
Esfuerzos máximos, (Kpa)	0.5	1	2
Esfuerzo, $\sigma$	4.9	9.8	19.6
Esfuerzo, $\tau$	7.2	9.0	11.3



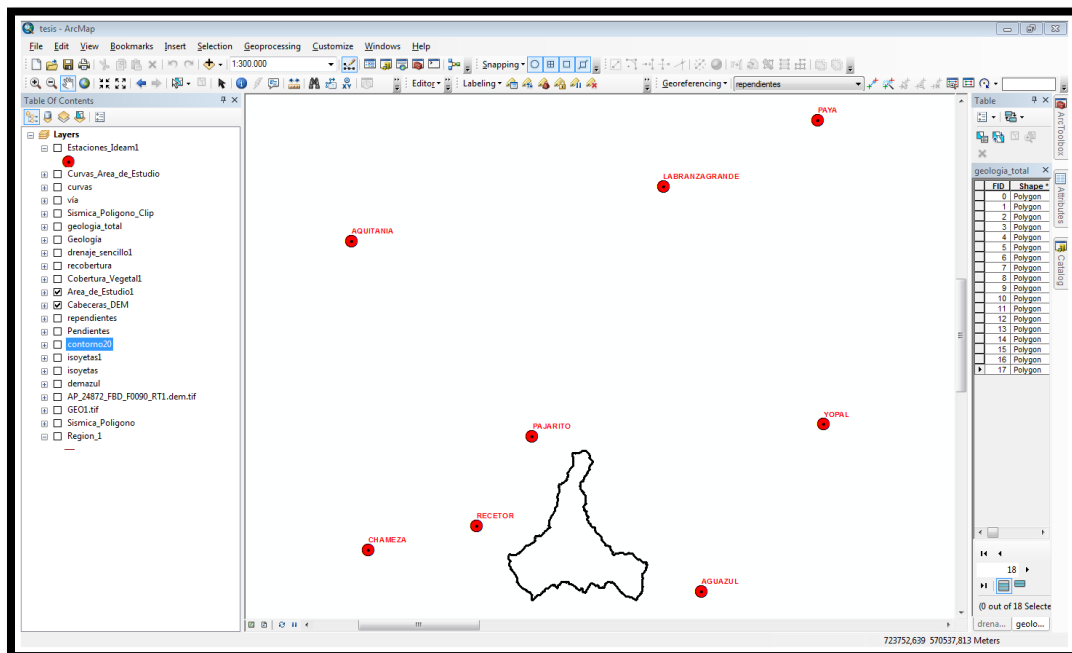
ANGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )
16.03	0.0619

**Anexo 6.** Modelaciones en el software ArcGis para la determinación de valores como: relieve, pendientes, cobertura vegetal, humedad general, lluvias y sismicidad; al igual, posicionamiento del área de estudio, estaciones pluviométricas y topografía.

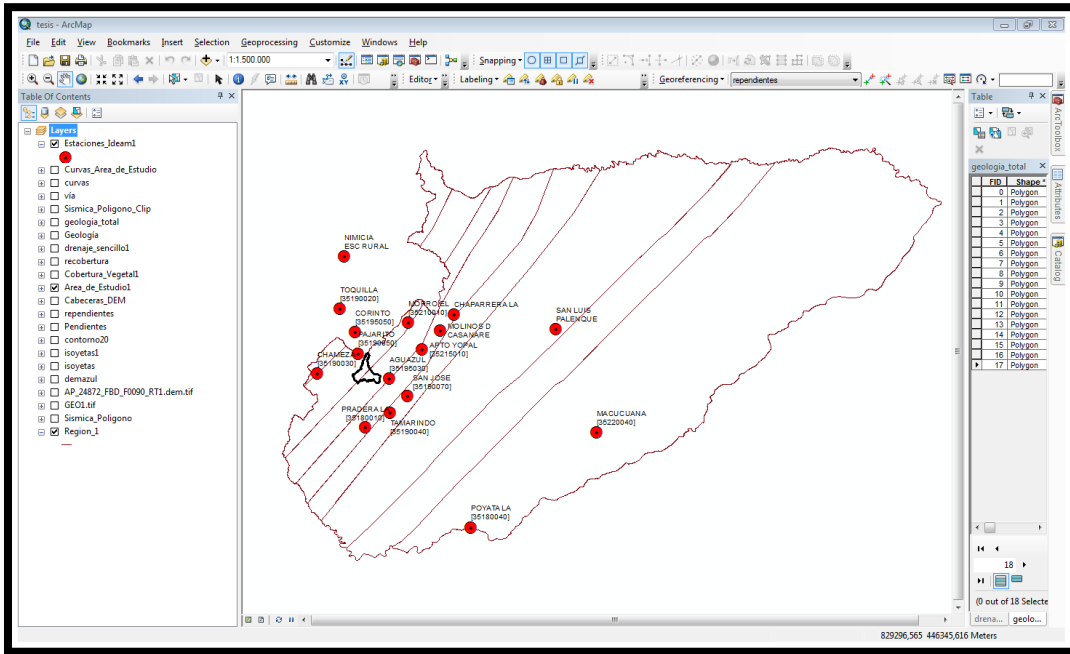
## UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO EN EL DEPARTAMENTO DEL CASANARE.



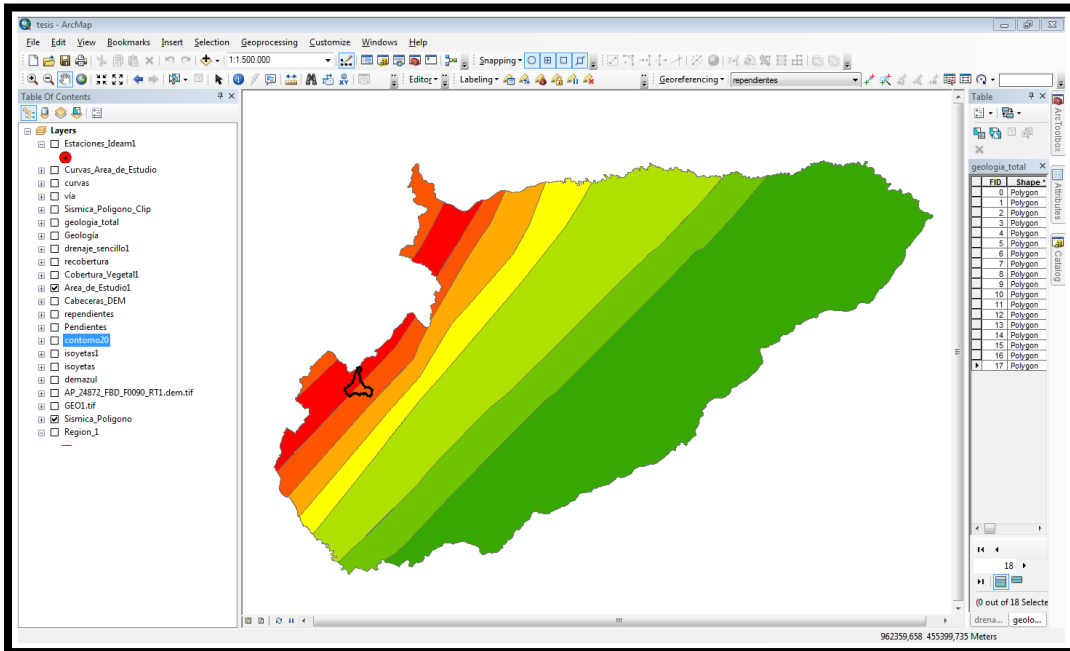
## CABECERAS MUNICIPALES CERCANAS AL AREA DE ESTUDIO



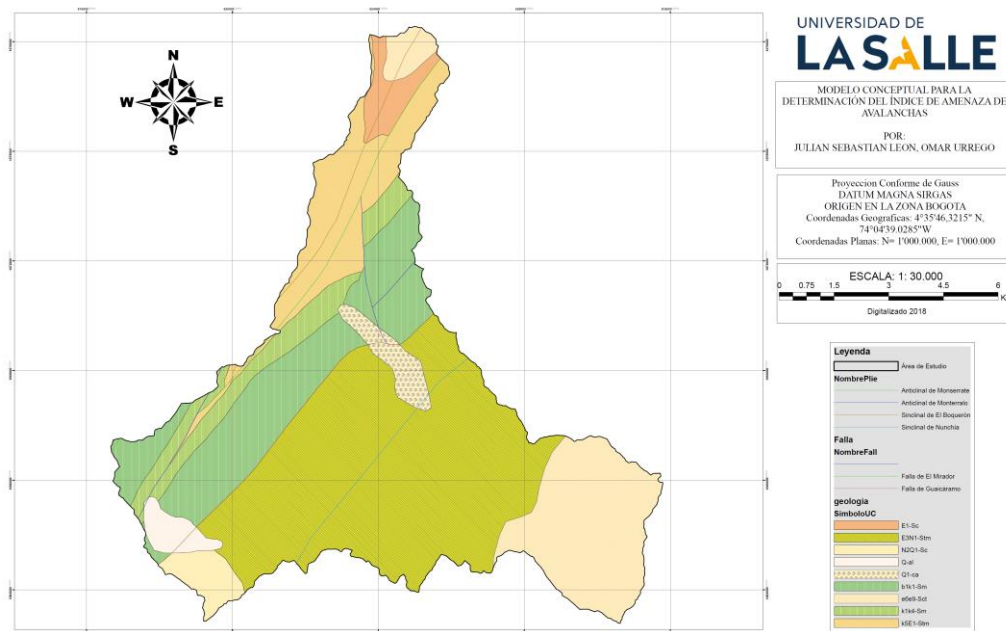
# ESTACIONES IDEAM



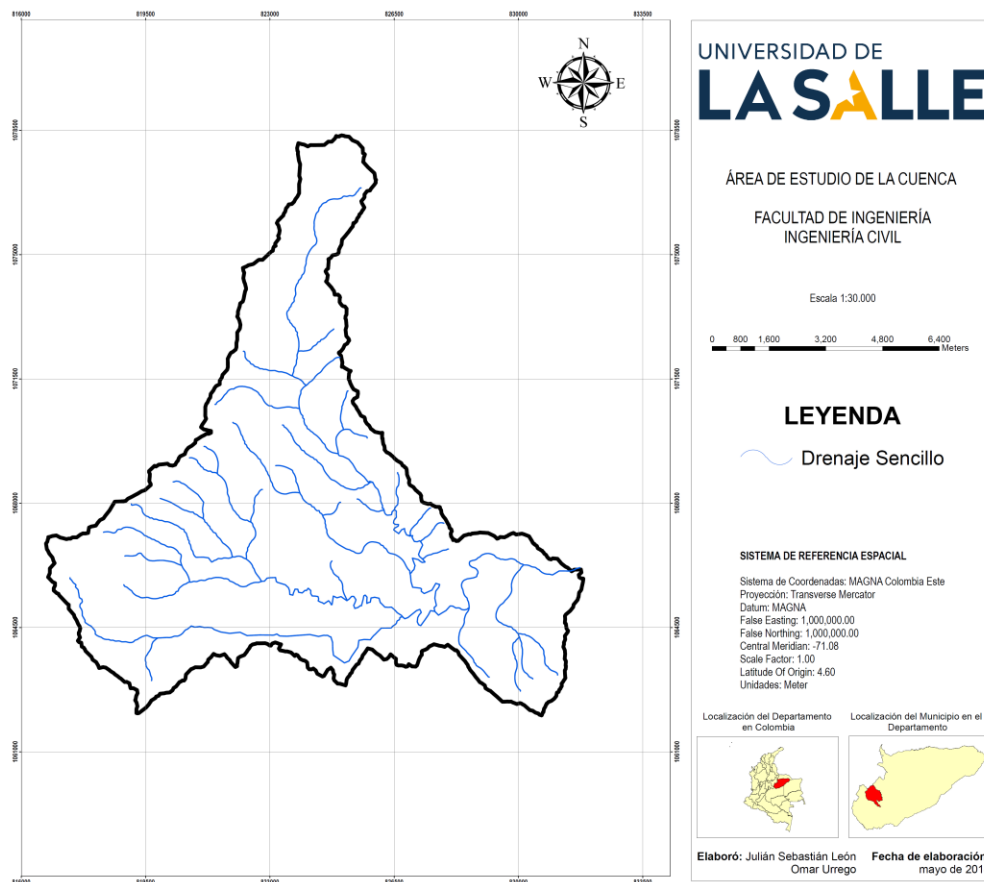
## ZONA DE AMENAZA SISMICA (DEPARTAMENTO DEL CASANARE)



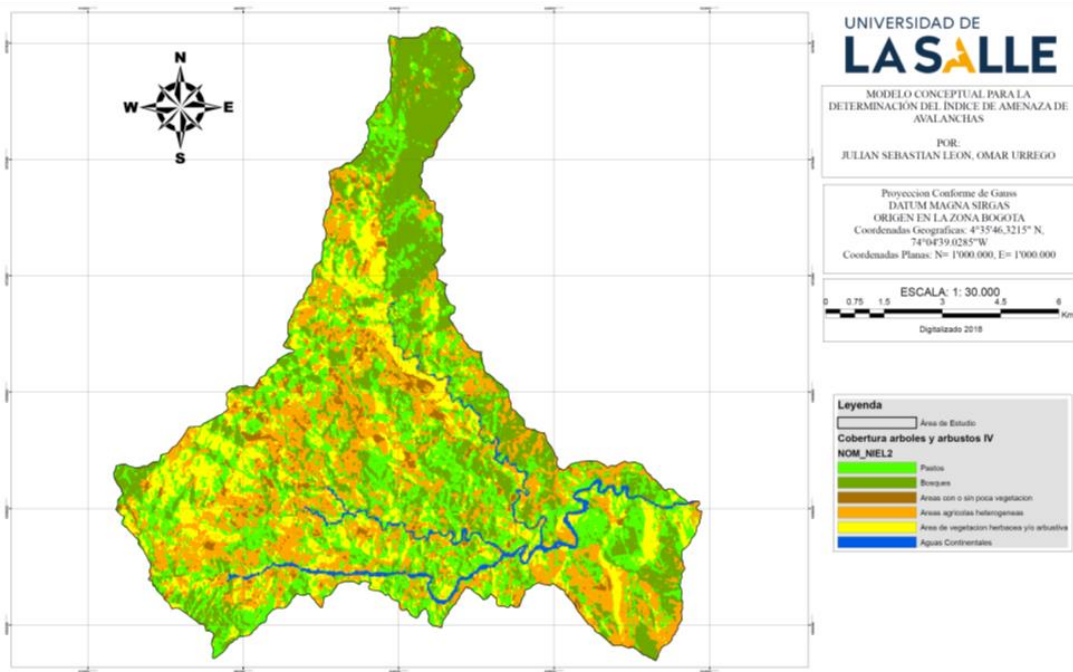
## ZONAS GEOLOGICAS



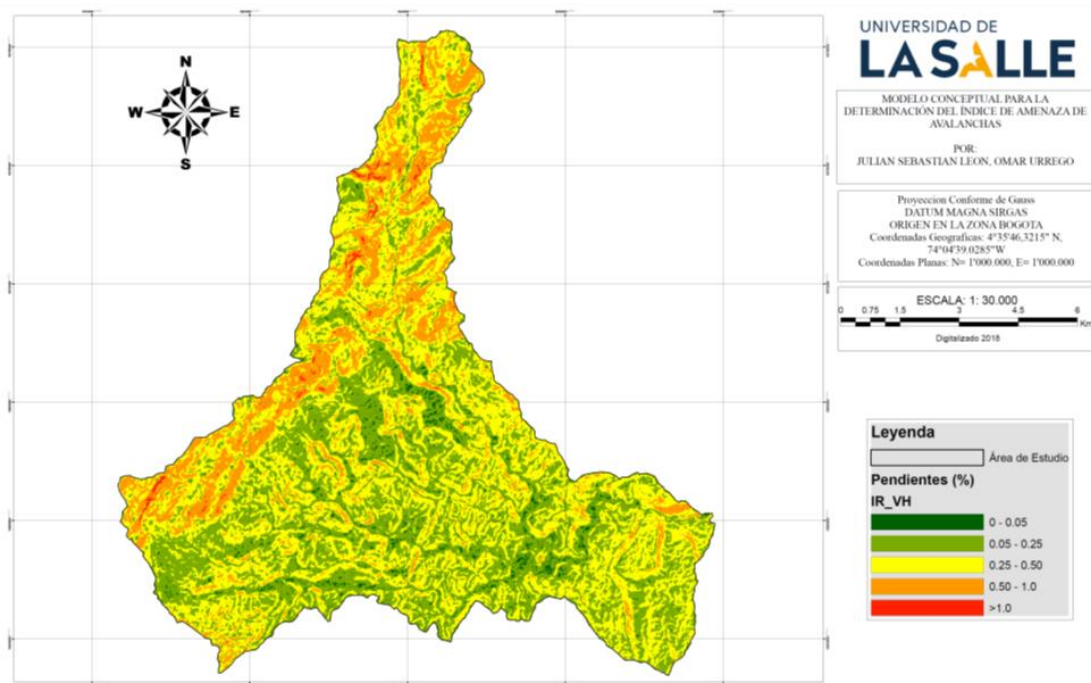
## DRENAJE



## COBERTURA VEGETAL

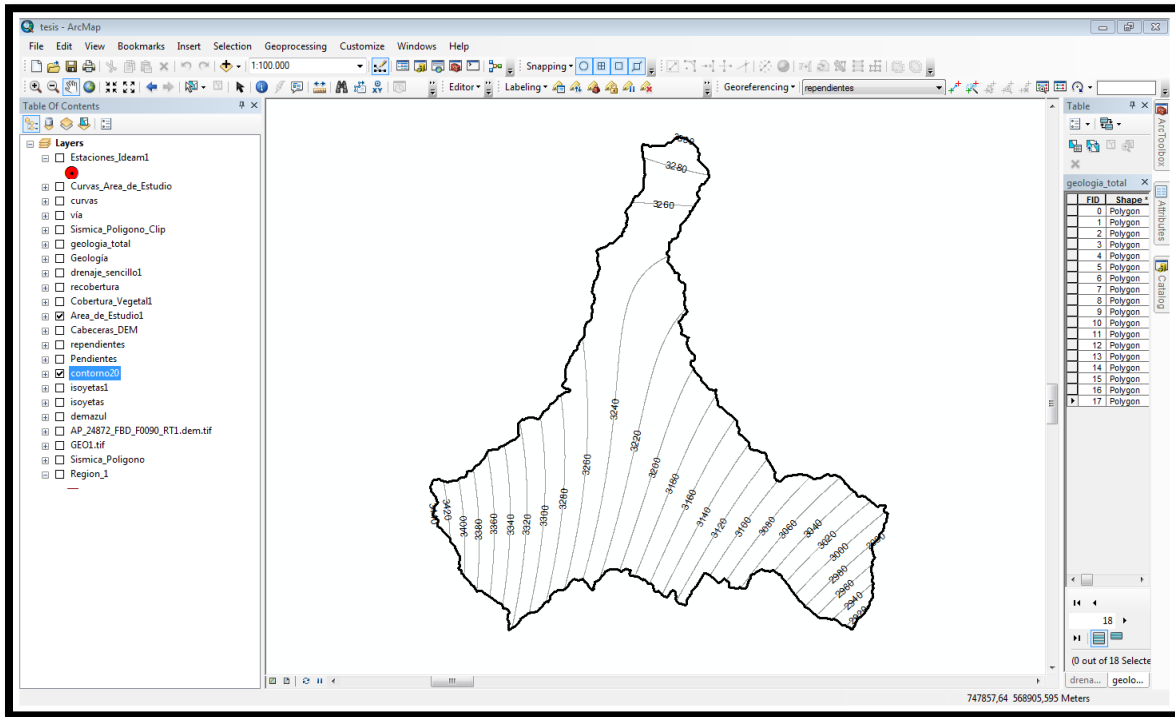


## PENDIENTES

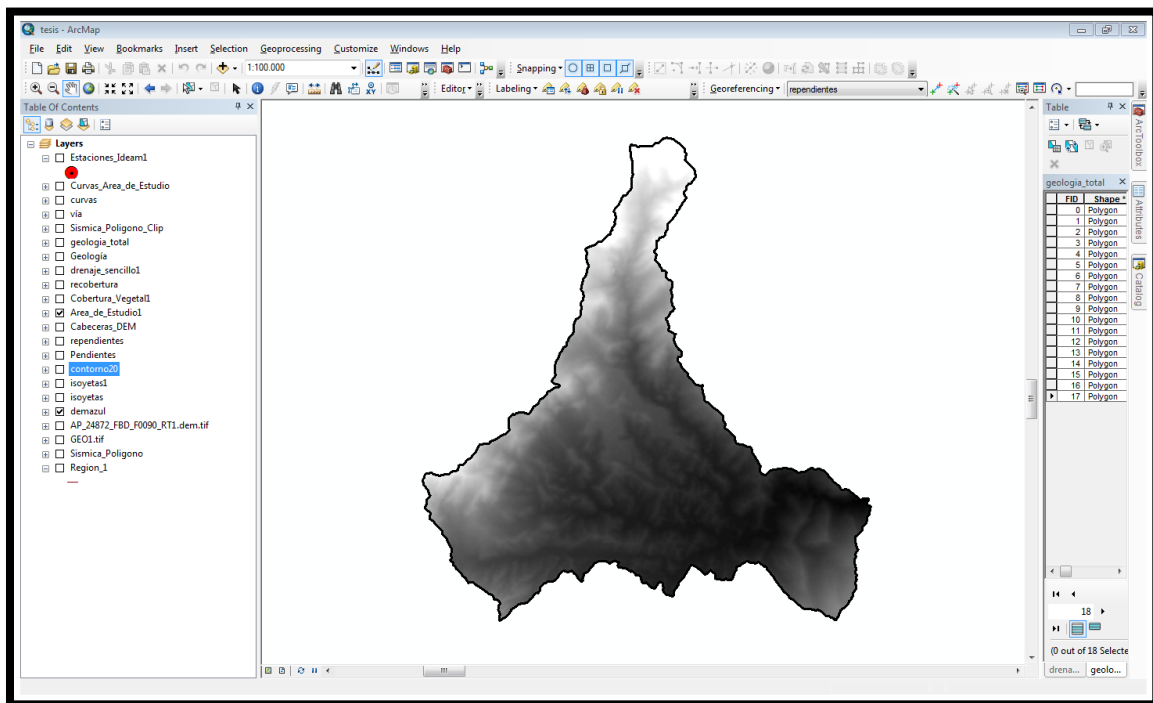




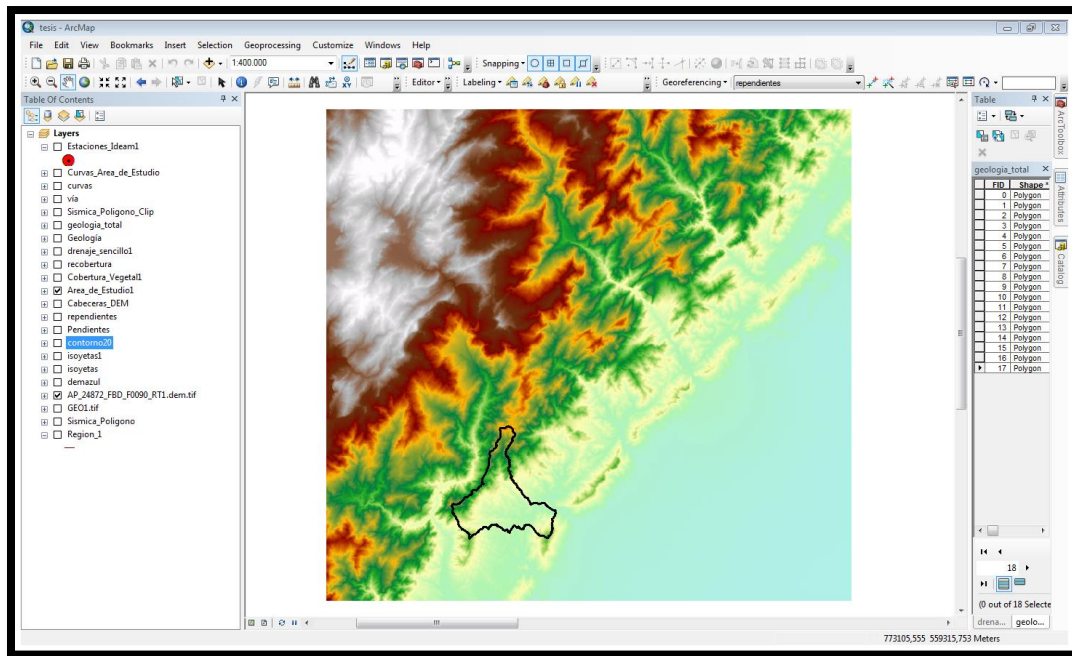
## CONTORNO



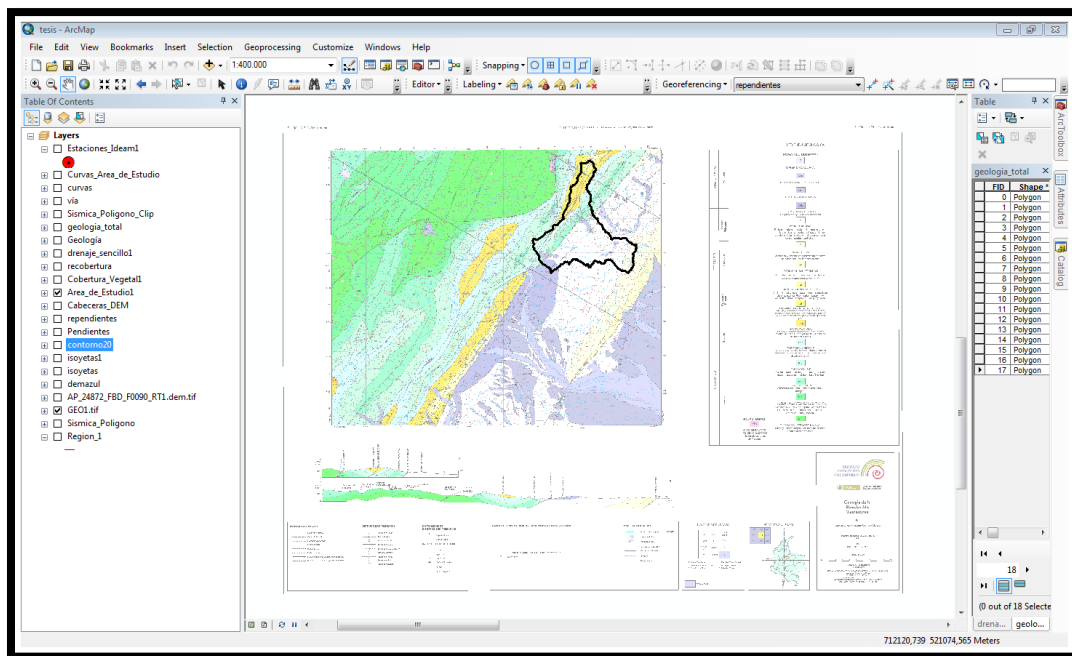
## DEM (AREA DE ESTUDIO)



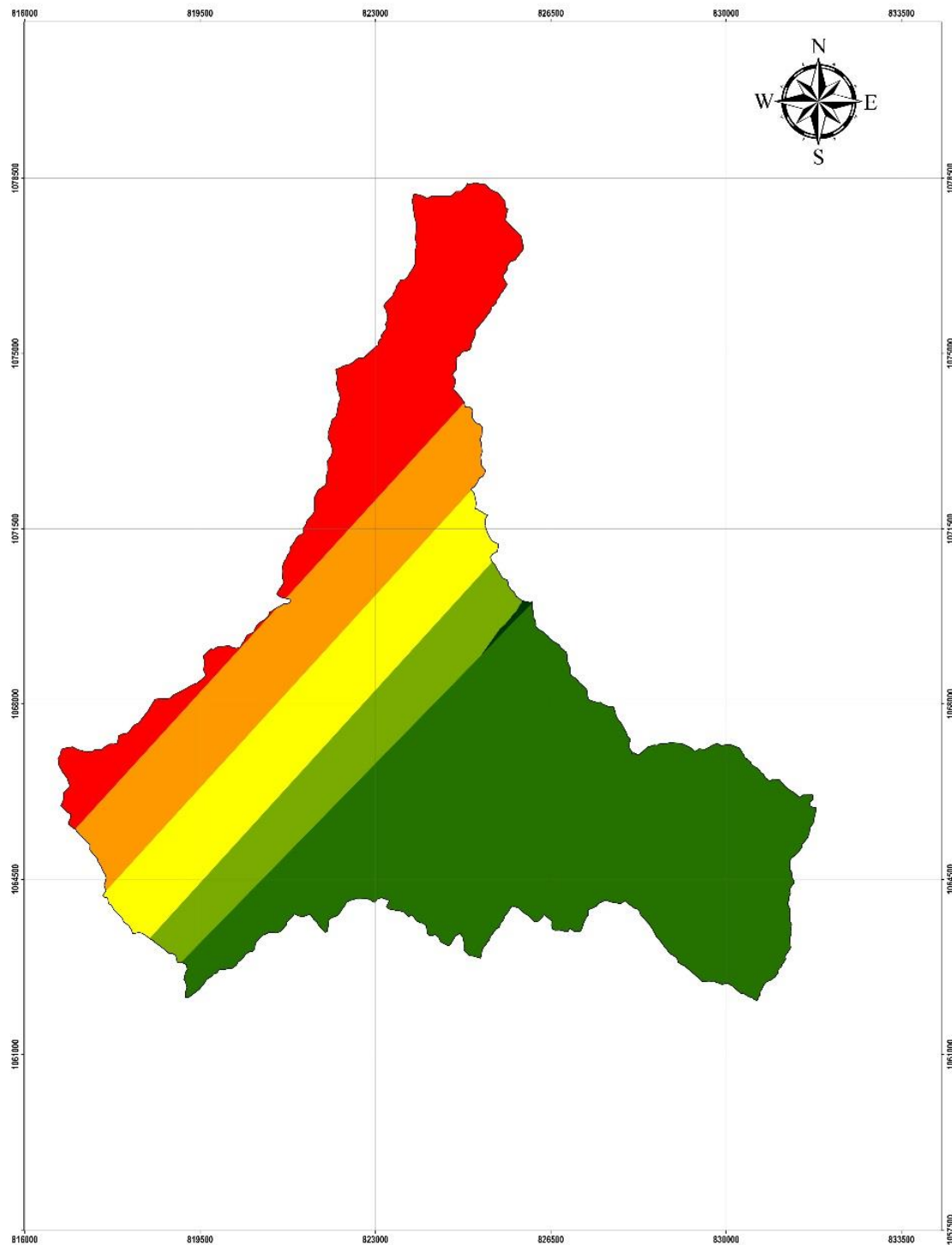
## DEM (12.5X12.5)



## AREA DE ESTUDIO UBICADA EN (GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 211 TAUREMA, IGAC, 1983).



**Anexo 7.** Modelamiento en el software ArcGis para la determinación del nivel de amenaza sísmica de la zona – coeficiente Aa.



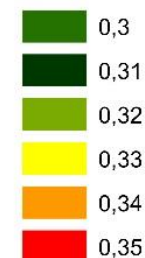
DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE AMENAZA  
DE AVALANCHA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL

0 800 1.600 3.200 4.800 6.400 Meters  
Escala 1:30.000

**LEYENDA**

**Aa**



**SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL**

Sistema de Coordenadas: MAGNA Colombia Este  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: MAGNA  
False Easting: 1.000.000,00  
False Northing: 1.000.000,00  
Central Meridian: -71,08  
Scale Factor: 1,00  
Latitude Of Origin: 4,60  
Unidades: Meter

Localización del Departamento  
en Colombia



Localización del Municipio en el  
Departamento



Elaboró: Julián Sebastián León  
Omar Urrego

Fecha de elaboración:  
mayo de 2018

## **Anexo 8. Modelamiento en el software ArcGis para la determinación del índice de intensidad de lluvias.**

SELECCIÓN DE ESTACIONES EN EL ÁREA DE ESTUDIO																									
AÑOS		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015			
CODIGO	NOMBRE																					FALTANTES	%FALTANTES		
35190020	Toquilla		8		3			1															12	4.8	
35195050	Corinto				2					1	1	1			1								6	2.4	
35190030	Chameza		2						1		3											12	18	7.1	
24030640	Nimicia Esc Rural		1																			1	2	0.8	
24030690	Curital										1												1	0.4	
35190040	Tamarindo		1	10				7	3	5	3	3		1	1							12	46	18.3	
35235020	Tamara	10	1	5			5	12	12	12	6		1										64	25.4	
35190010	Las Cintas				3																		3	1.2	
3521010	el morro	4	3												1					1			9	3.6	
3521050	la chaparrera	11	4		1				1	4	3			1									25	9.9	
3519530	Aguazul			3			2	11		3	3	3	1			1							27	10.7	
35215010	Apto Yopal	1				2					3												6	2.4	
35180040	La Poyata						7	11				2			3								23	9.1	
35210040	Molinos de Casanare	10						7	6	2												12	37	14.7	
35190070	San Jose		3				2	2	1	12	5												25	9.9	
35230010	San Luis Palenque								3		3	1	1										8	3.2	
35220040	Macucuana									4	2				3			1					10	4.0	
35180010	La Pradera	4	3		3			1			4								1				16	6.3	
3519050	Pajarito		2					8			1	1					1						13	5.2	

SE DESCARTA POR MALA CORRELACION ENTRE ESTACIONES

SE DESCARTA POR PORCENTAJE DE DATOS FALTANTES

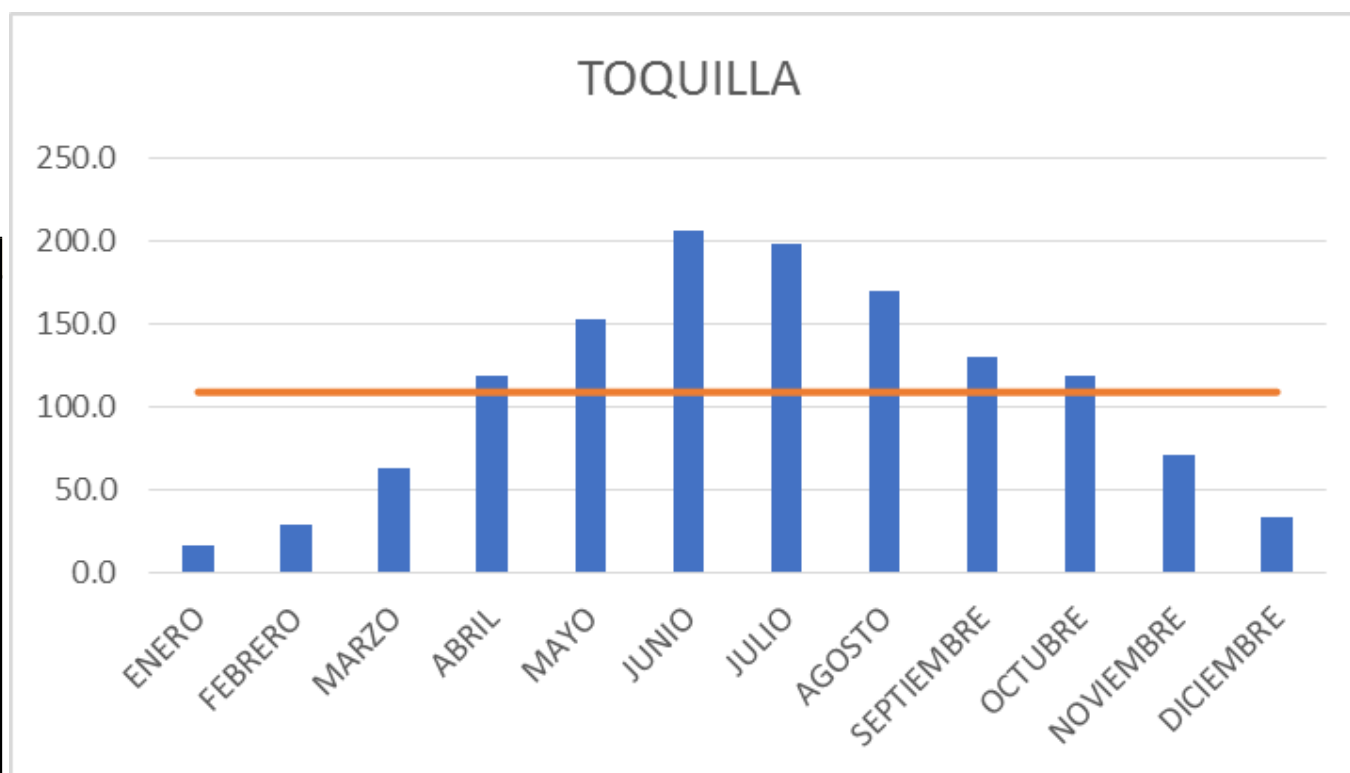
SE DESCARTA POR REGIMEN

SE DESCARTA POR MALA CORRELACION ENTRE ESTACIONES

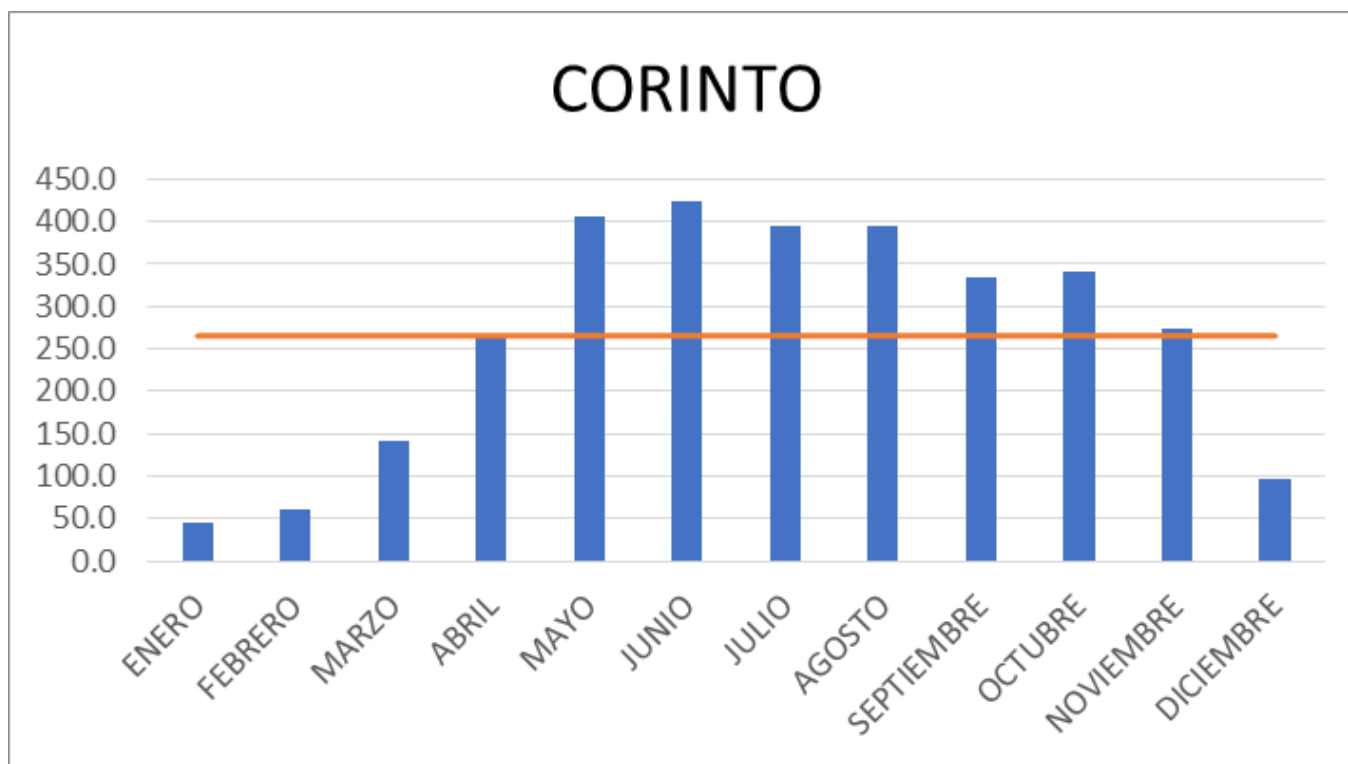
SE DESCARTA POR PORCENTAJE DE DATOS FALTANTES

SE DESCARTA POR REGIMEN

TOQUILLA	
ENERO	16.6
FEBRERO	29.5
MARZO	63.6
ABRIL	119.7
MAYO	153.0
JUNIO	206.9
JULIO	198.5
AGOSTO	170.8
SEPTIEMBRE	130.9
OCTUBRE	119.6
NOVIEMBRE	71.1
DICIEMBRE	33.4
Pmed	109.5

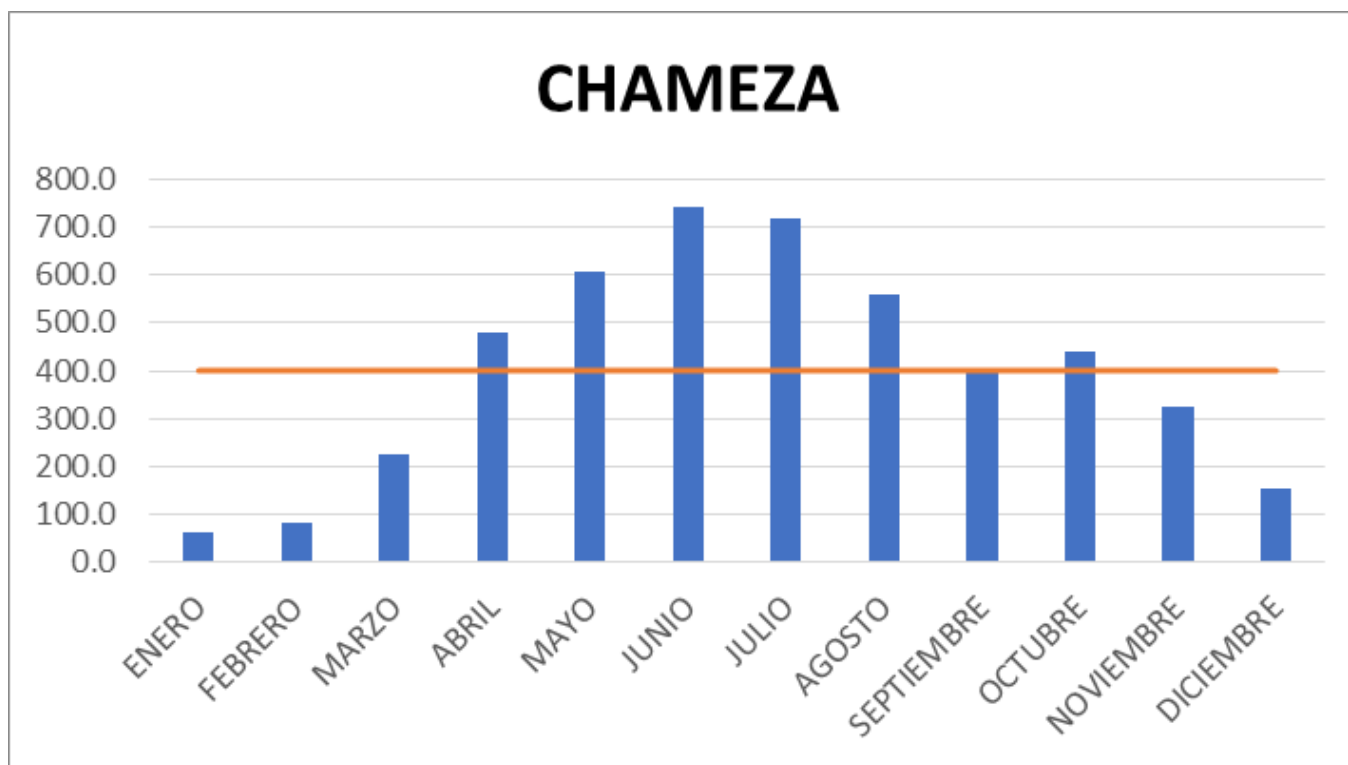


CORINTO	
ENERO	45.8
FEBRERO	61.6
MARZO	140.5
ABRIL	268.0
MAYO	406.0
JUNIO	423.5
JULIO	395.4
AGOSTO	395.4
SEPTIEMBRE	335.0
OCTUBRE	340.0
NOVIEMBRE	274.7
DICIEMBRE	97.6
Pmed	265.3

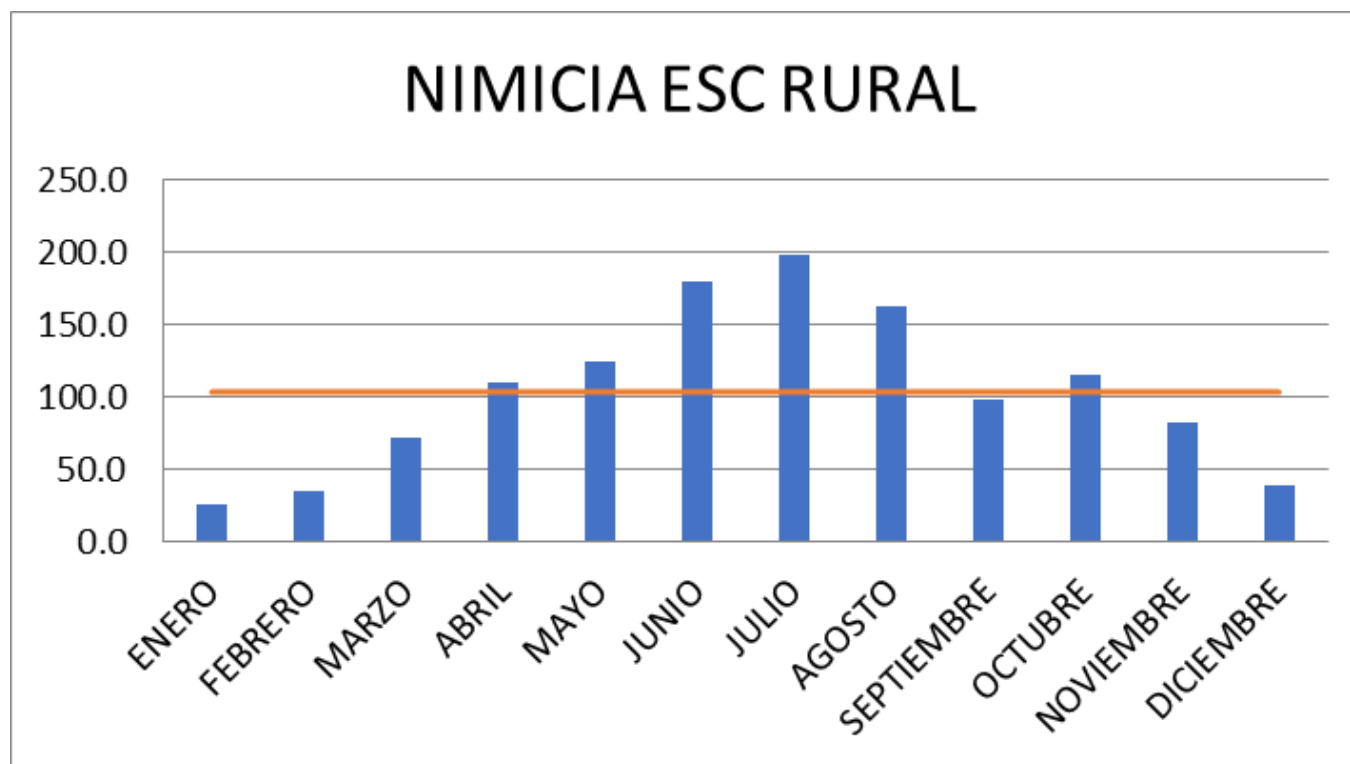




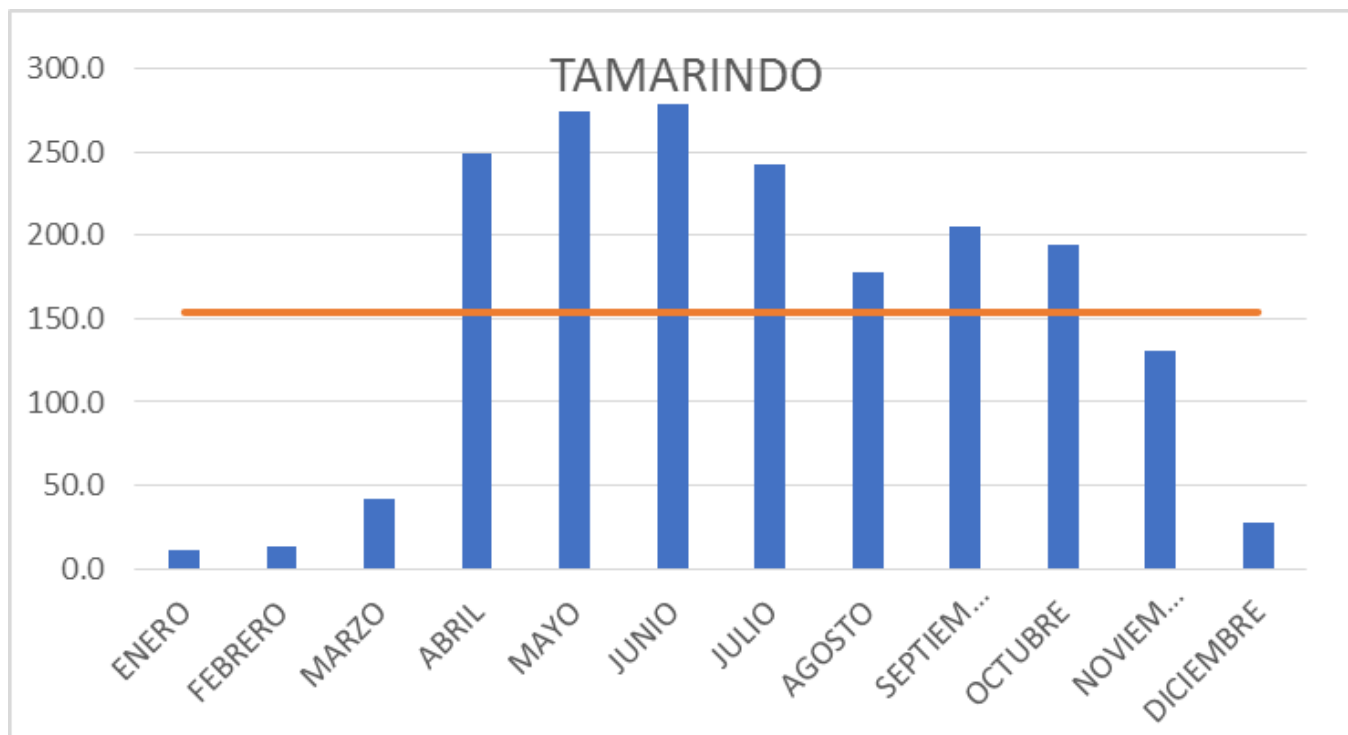
CHAMEZA	
ENERO	64.9
FEBRERO	82.7
MARZO	227.6
ABRIL	480.0
MAYO	607.9
JUNIO	740.3
JULIO	716.2
AGOSTO	560.6
SEPTIEMBRE	403.6
OCTUBRE	441.1
NOVIEMBRE	324.9
DICIEMBRE	156.4
Pmed	400.5



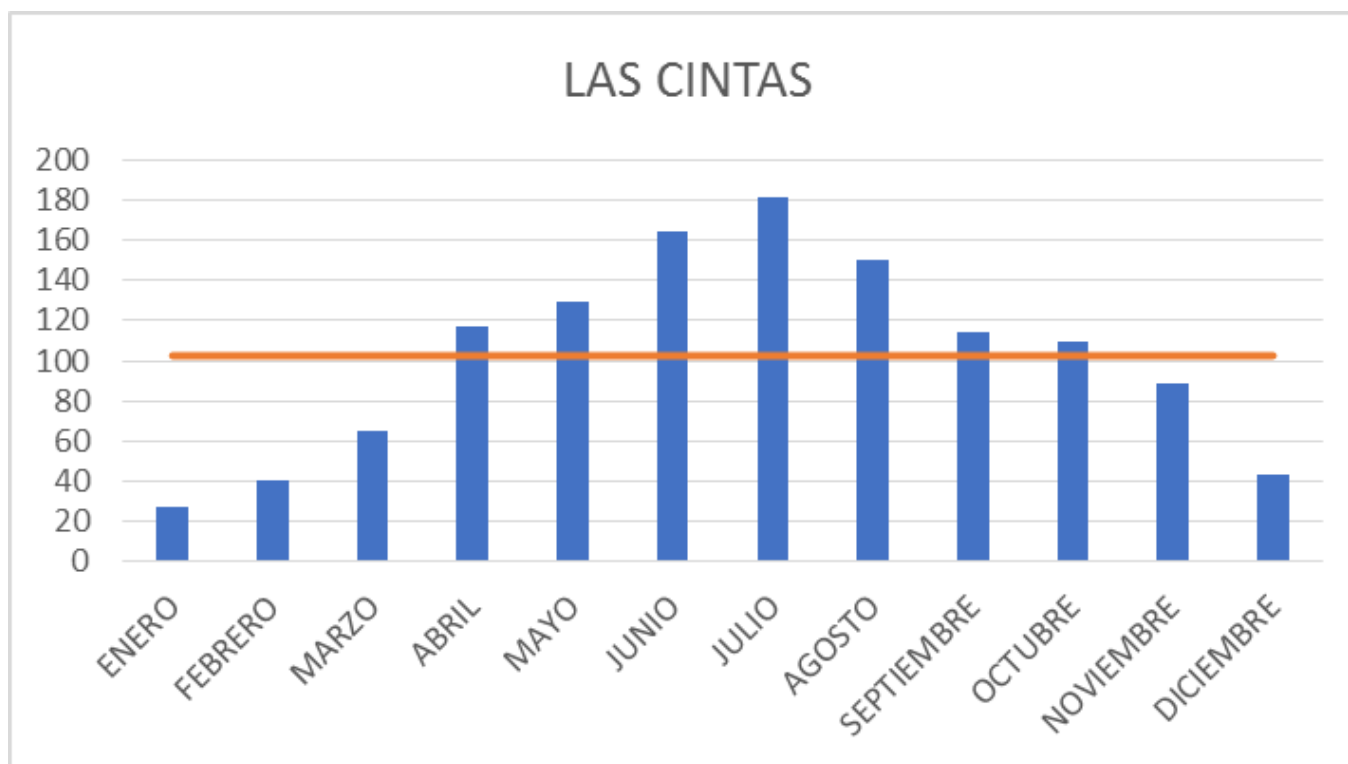
NIMICIA ESC RURAL	
ENERO	26.2
FEBRERO	34.9
MARZO	71.2
ABRIL	110.5
MAYO	124.1
JUNIO	179.0
JULIO	197.5
AGOSTO	162.1
SEPTIEMBRE	97.8
OCTUBRE	115.6
NOVIEMBRE	82.1
DICIEMBRE	38.4
Pmed	103.3



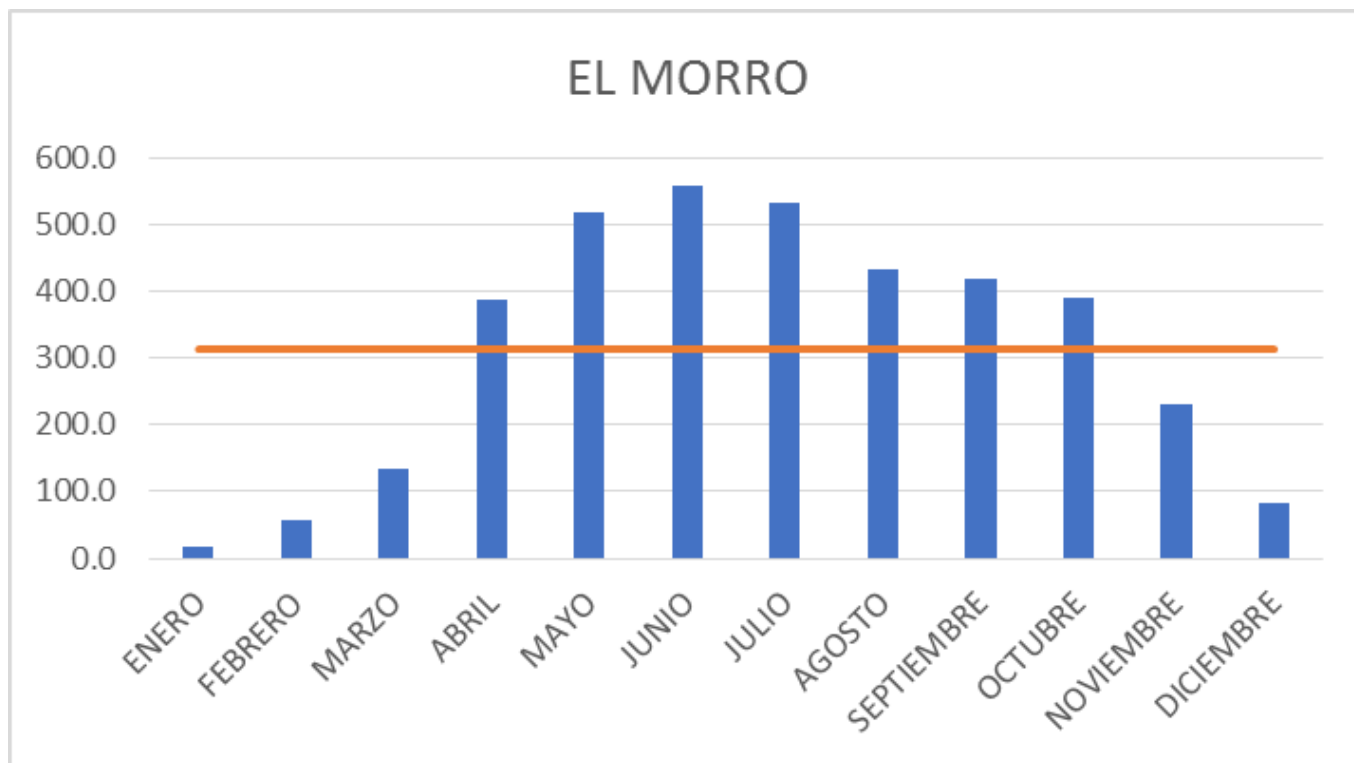
TAMARINDO	
ENERO	11.7
FEBRERO	14.0
MARZO	41.8
ABRIL	248.8
MAYO	274.2
JUNIO	278.8
JULIO	241.9
AGOSTO	177.6
SEPTIEMBRE	205.2
OCTUBRE	194.2
NOVIEMBRE	130.8
DICIEMBRE	27.5
Pmed	153.9



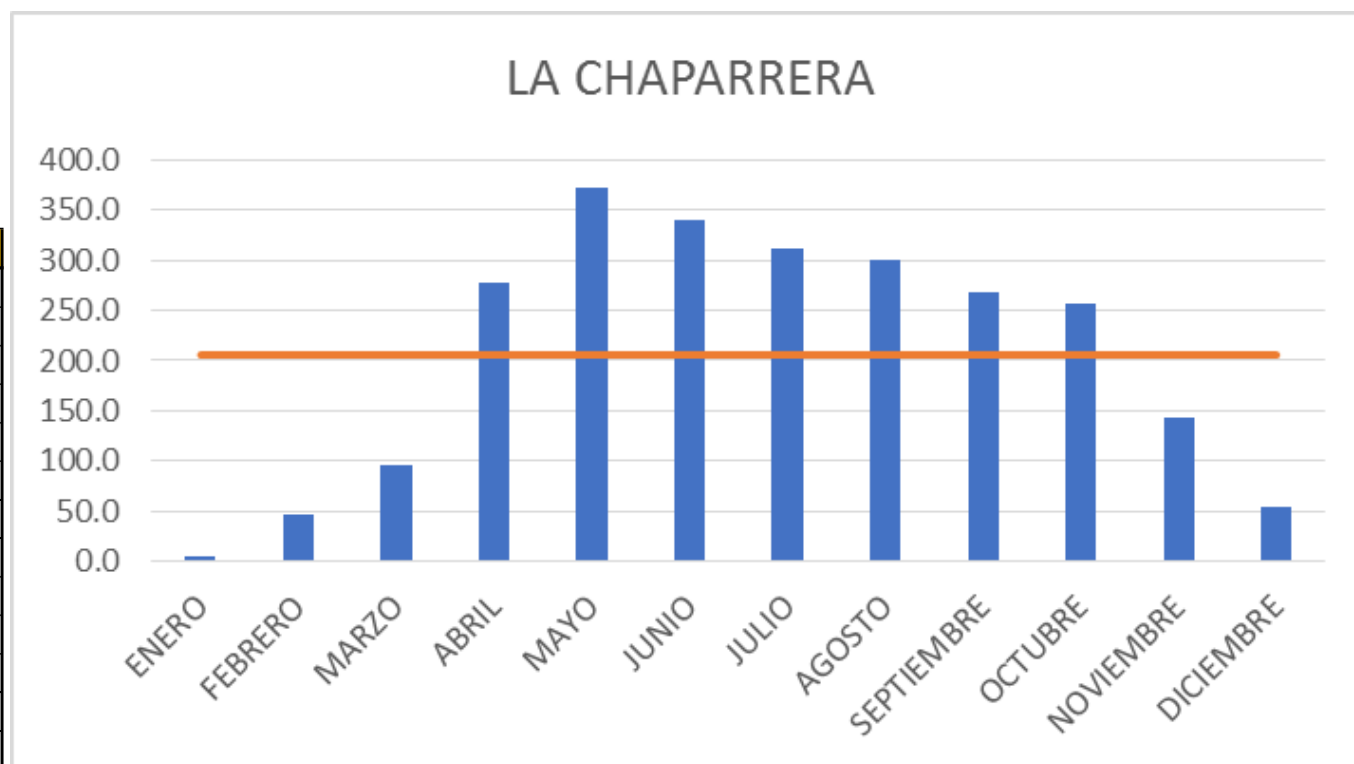
LAS CINTAS	
ENERO	26.985
FEBRERO	40.76
MARZO	65.3761905
ABRIL	116.985
MAYO	129.561905
JUNIO	164.666667
JULIO	181.5
AGOSTO	150.20619
SEPTIEMBRE	113.851429
OCTUBRE	109.860952
NOVIEMBRE	88.4190476
DICIEMBRE	43.0809524
Pmed	102.6



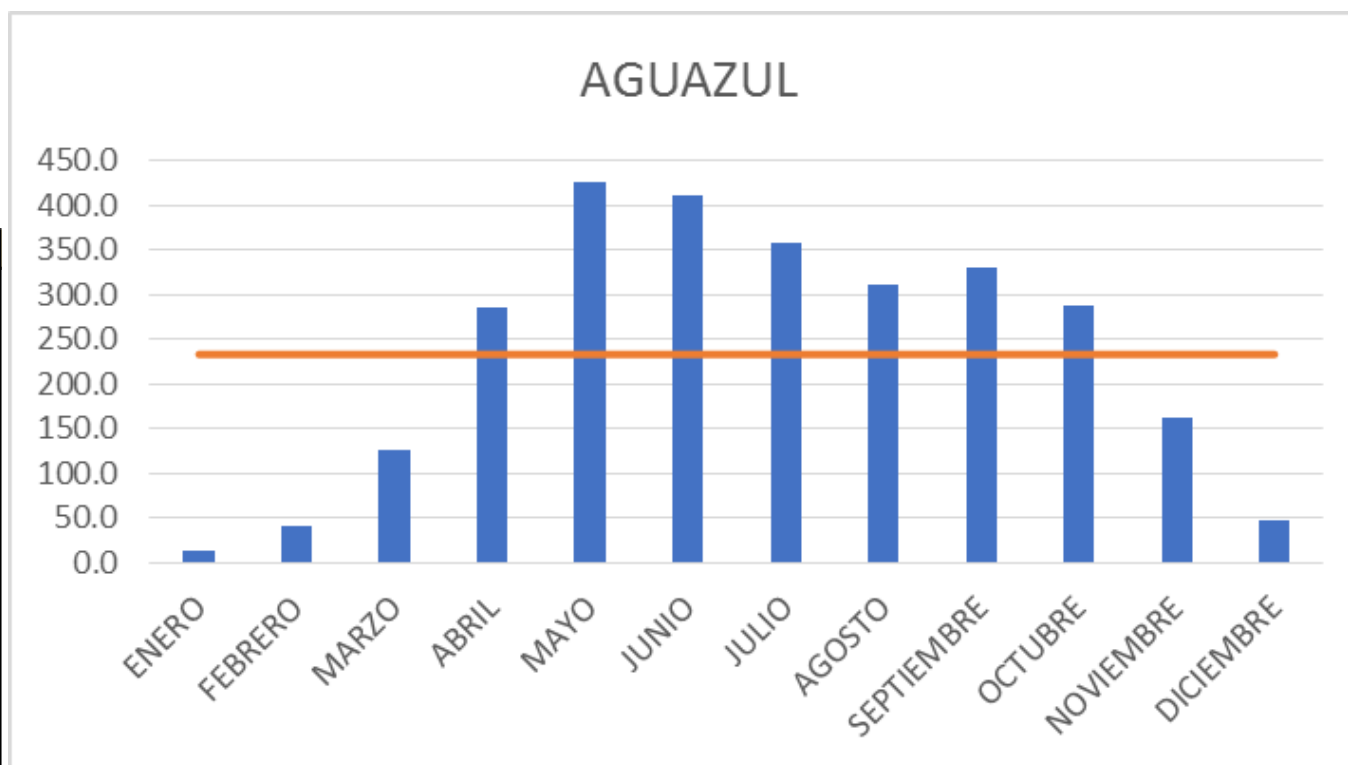
EL MORRO	
ENERO	17.9
FEBRERO	58.0
MARZO	134.1
ABRIL	386.9
MAYO	519.1
JUNIO	557.8
JULIO	532.3
AGOSTO	431.5
SEPTIEMBRE	417.8
OCTUBRE	388.8
NOVIEMBRE	231.9
DICIEMBRE	81.4
Pmed	313.1



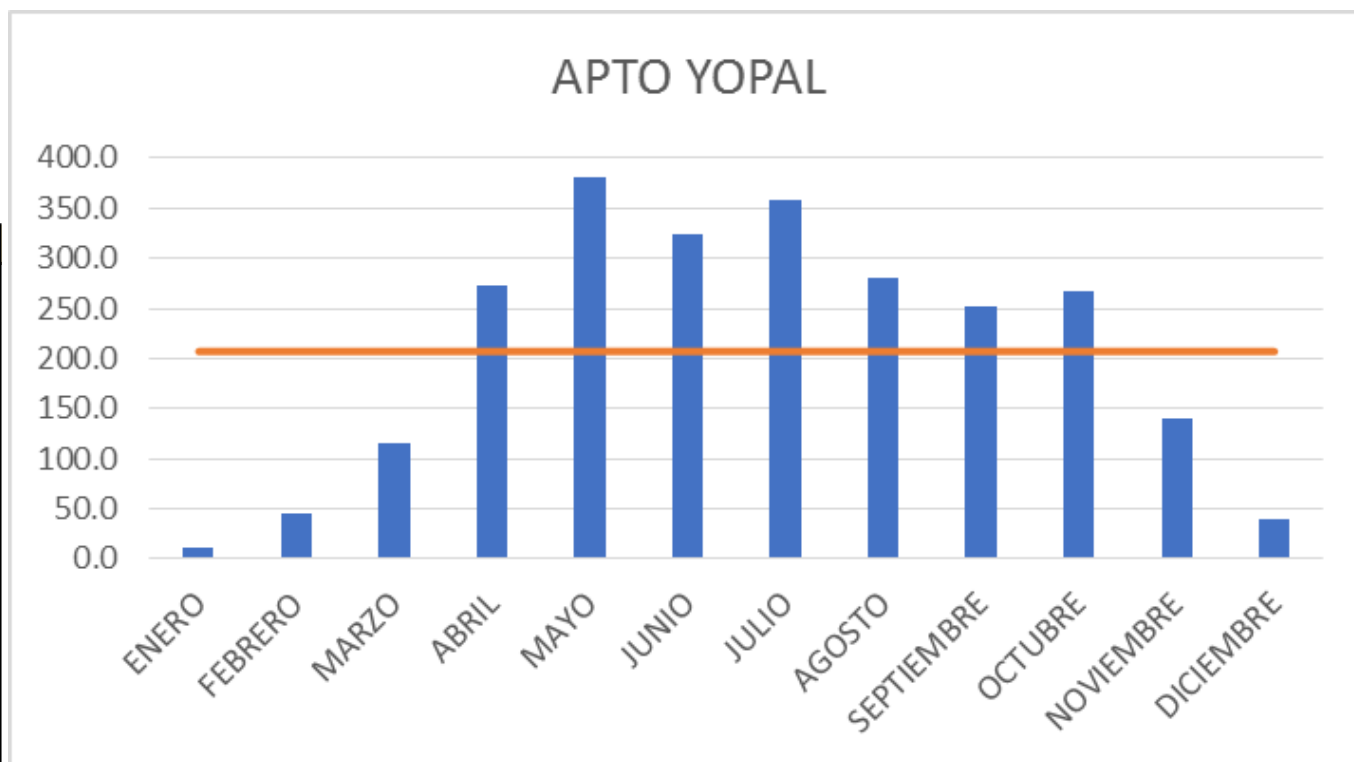
LA CHAPARRERA	
ENERO	6.2
FEBRERO	47.8
MARZO	95.1
ABRIL	277.0
MAYO	371.1
JUNIO	339.5
JULIO	311.0
AGOSTO	300.0
SEPTIEMBRE	267.1
OCTUBRE	257.2
NOVIEMBRE	142.5
DICIEMBRE	54.0
Pmed	205.7



AGUAZUL	
ENERO	12.8
FEBRERO	41.0
MARZO	125.2
ABRIL	286.1
MAYO	426.2
JUNIO	410.2
JULIO	357.0
AGOSTO	310.7
SEPTIEMBRE	329.3
OCTUBRE	287.5
NOVIEMBRE	163.0
DICIEMBRE	46.9
Pmed	233.0

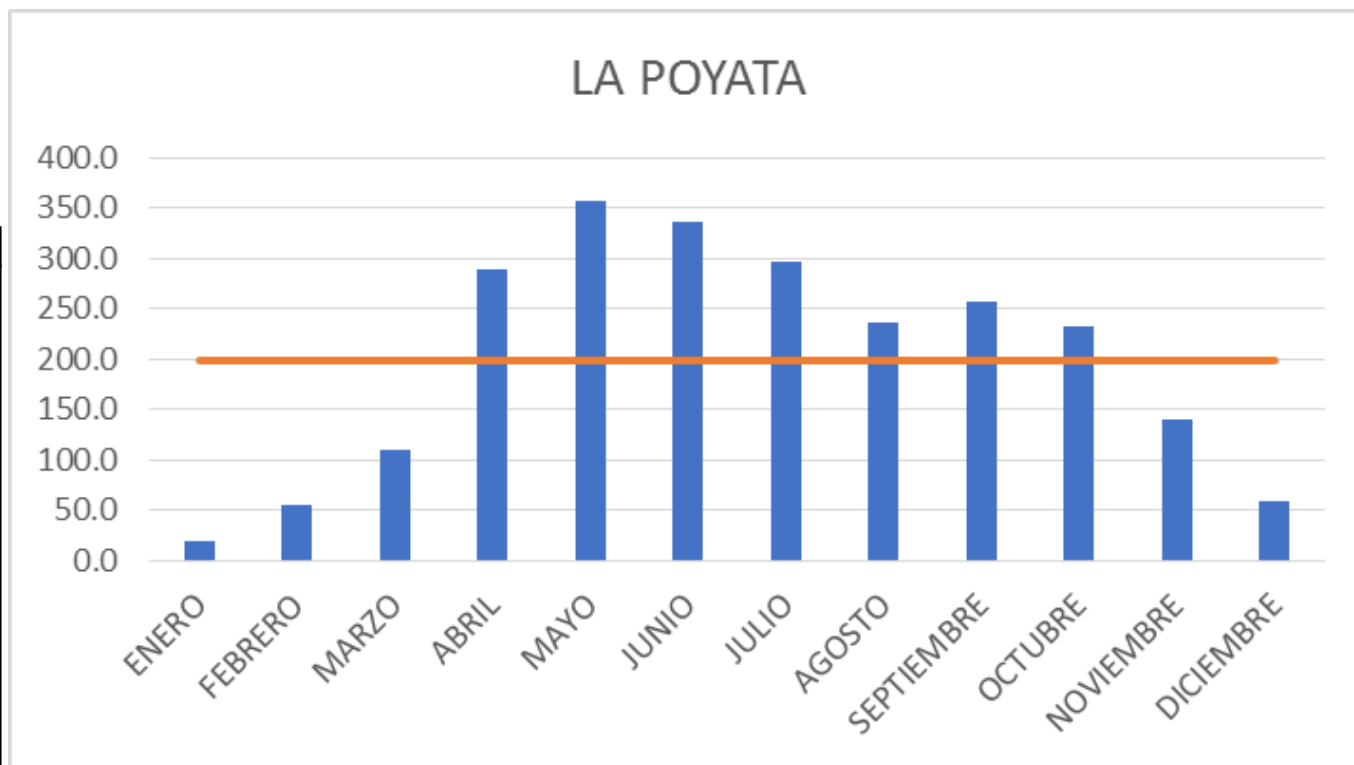


APTO YOPAL	
ENERO	10.6
FEBRERO	44.5
MARZO	115.6
ABRIL	273.5
MAYO	380.0
JUNIO	324.5
JULIO	357.9
AGOSTO	279.5
SEPTIEMBRE	251.8
OCTUBRE	266.5
NOVIEMBRE	140.4
DICIEMBRE	39.6
Pmed	207.0

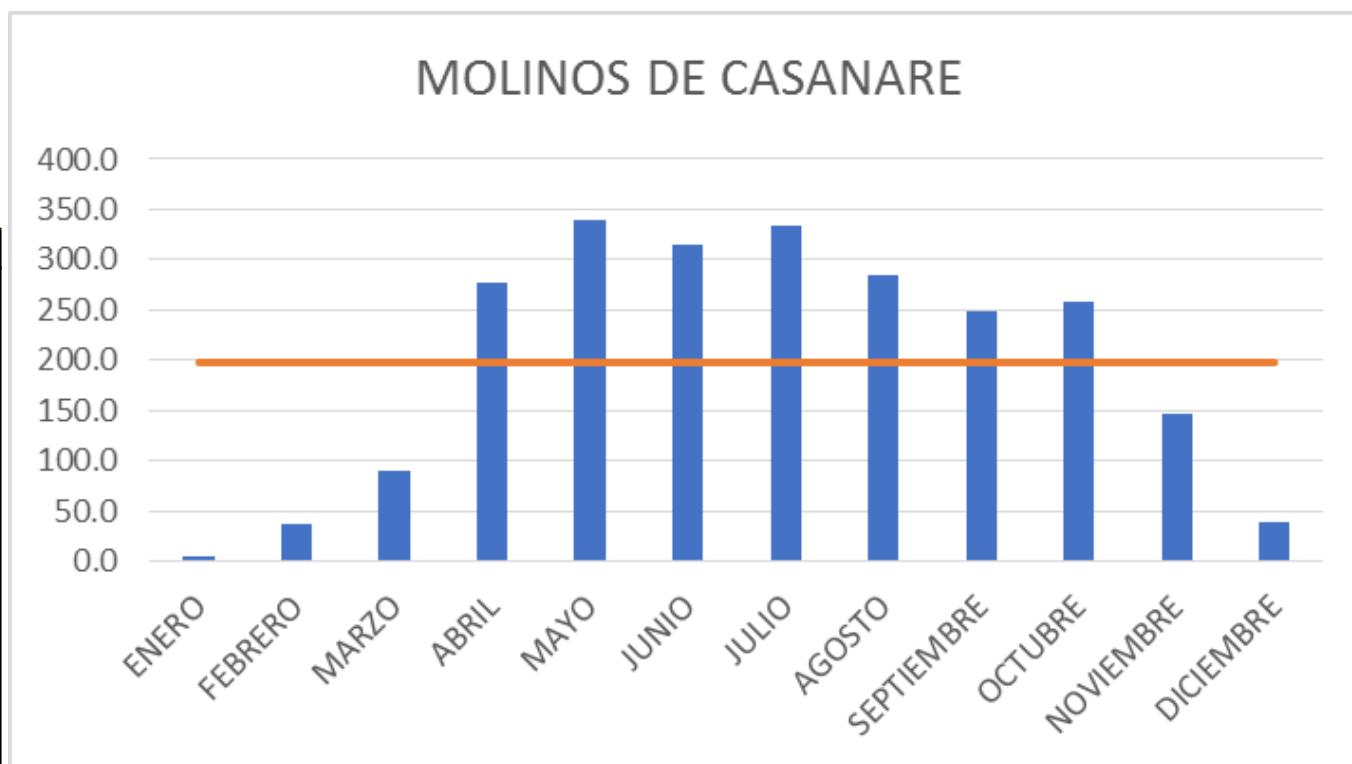




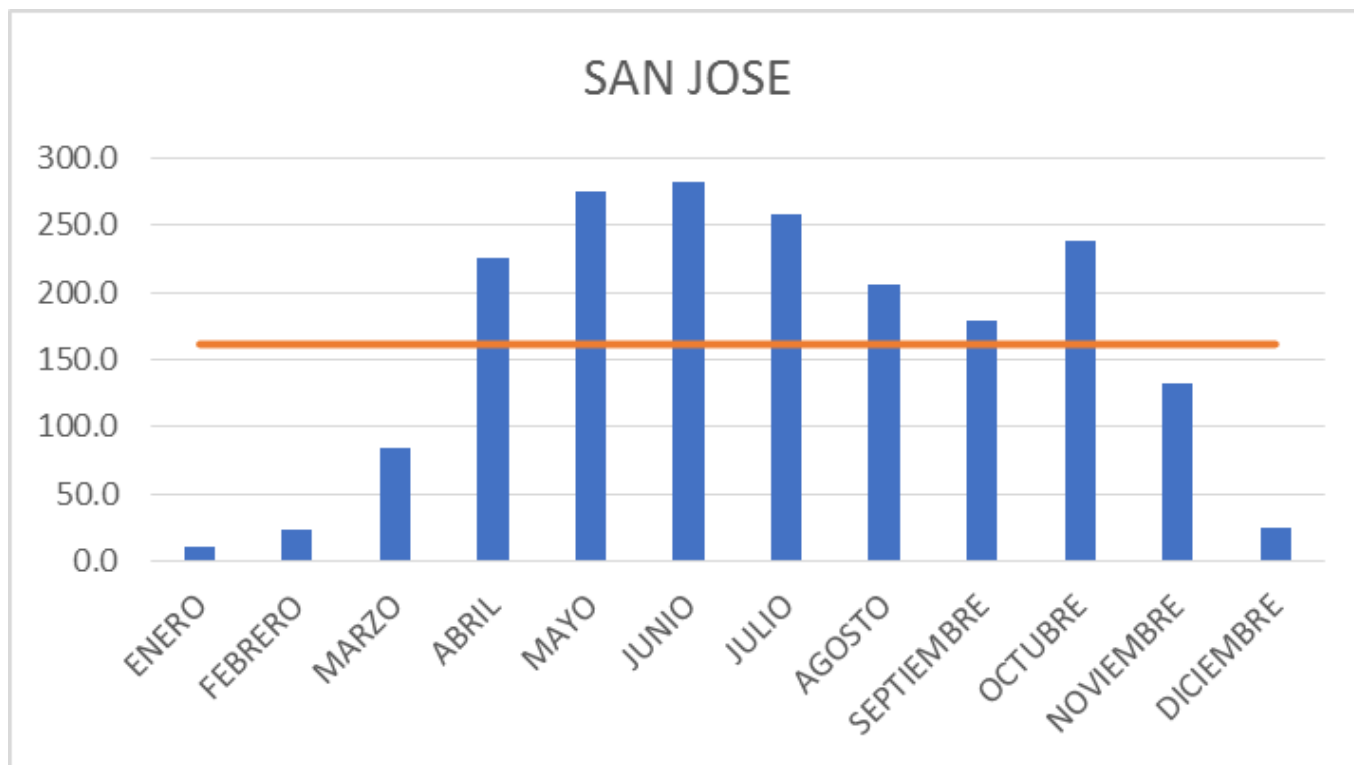
LA POYATA	
ENERO	18.6
FEBRERO	54.2
MARZO	109.8
ABRIL	289.6
MAYO	357.6
JUNIO	336.5
JULIO	296.3
AGOSTO	235.8
SEPTIEMBRE	256.9
OCTUBRE	231.7
NOVIEMBRE	139.2
DICIEMBRE	59.4
Pmed	198.8



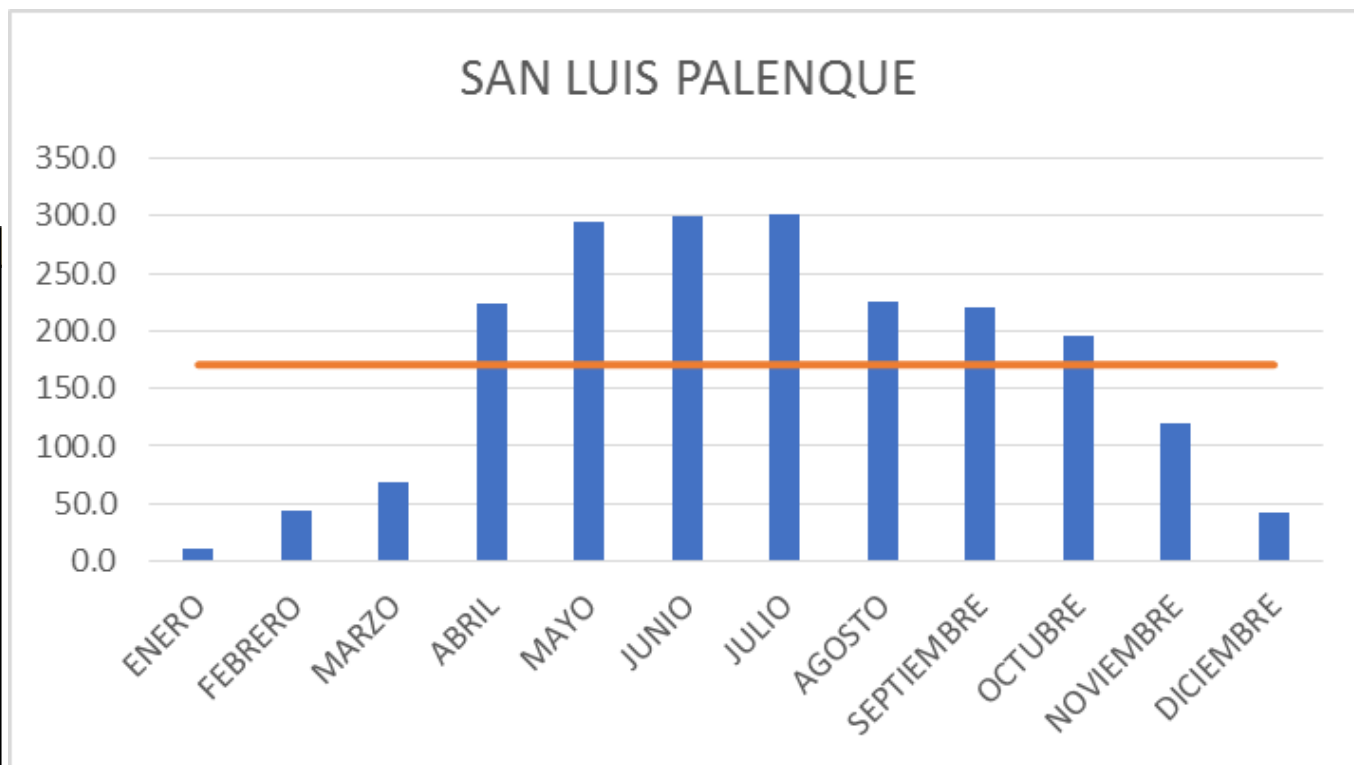
MOLINOS DE CASANARE	
ENERO	6.2
FEBRERO	36.7
MARZO	89.9
ABRIL	278.1
MAYO	340.2
JUNIO	314.3
JULIO	334.0
AGOSTO	285.4
SEPTIEMBRE	248.7
OCTUBRE	259.0
NOVIEMBRE	147.7
DICIEMBRE	38.5
Pmed	198.2



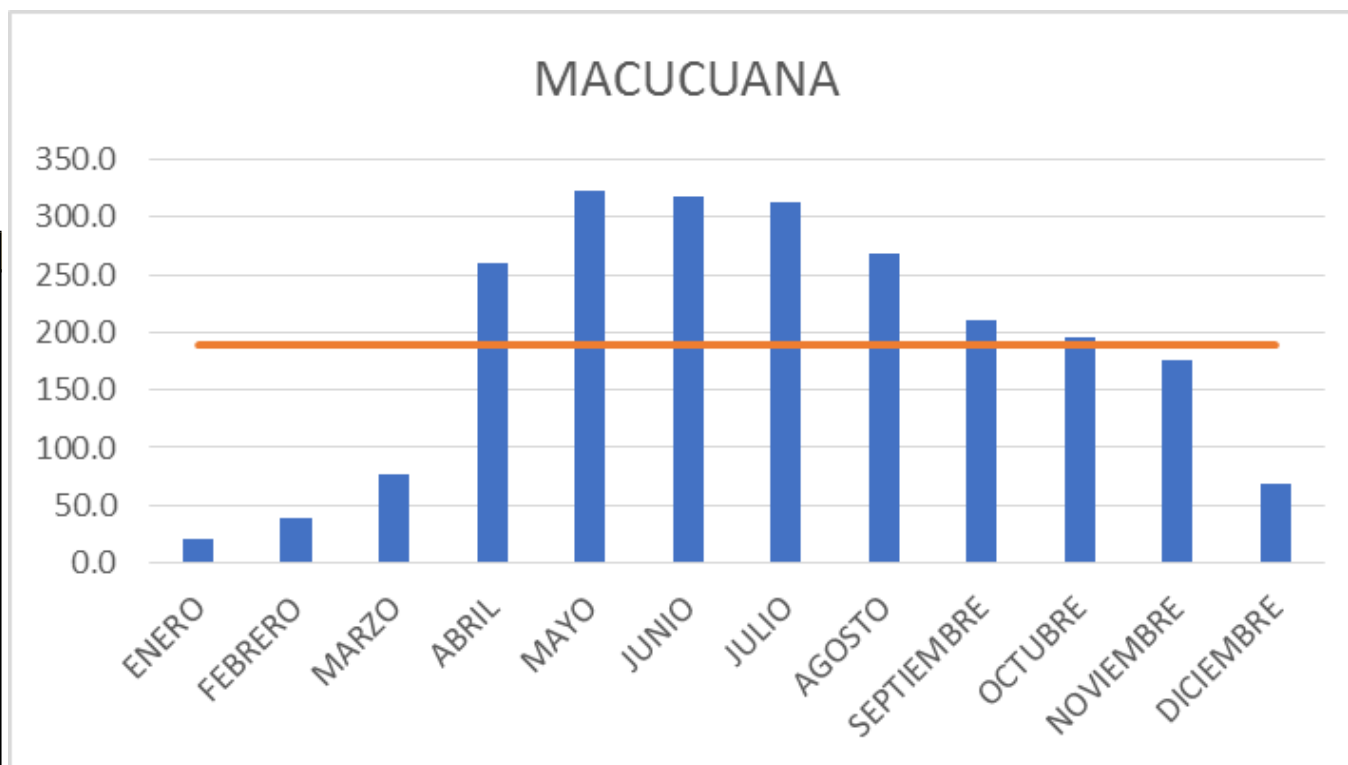
SAN JOSE	
ENERO	9.7
FEBRERO	23.2
MARZO	84.4
ABRIL	226.2
MAYO	274.7
JUNIO	281.8
JULIO	258.4
AGOSTO	206.5
SEPTIEMBRE	178.5
OCTUBRE	238.7
NOVIEMBRE	131.6
DICIEMBRE	24.4
Pmed	161.5



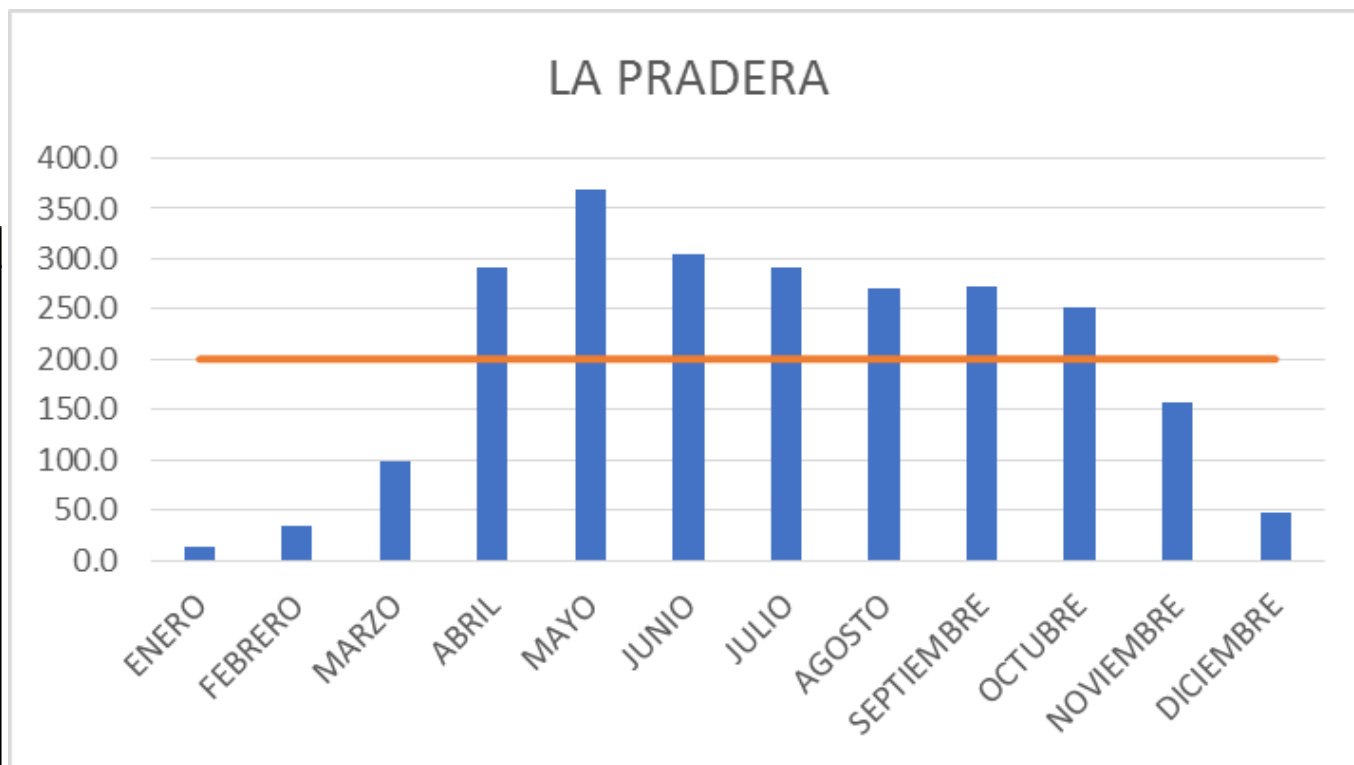
SAN LUIS PALENQUE	
ENERO	11.2
FEBRERO	43.1
MARZO	68.5
ABRIL	224.0
MAYO	295.3
JUNIO	299.2
JULIO	302.1
AGOSTO	225.6
SEPTIEMBRE	221.0
OCTUBRE	195.8
NOVIEMBRE	120.1
DICIEMBRE	42.8
Pmed	170.7



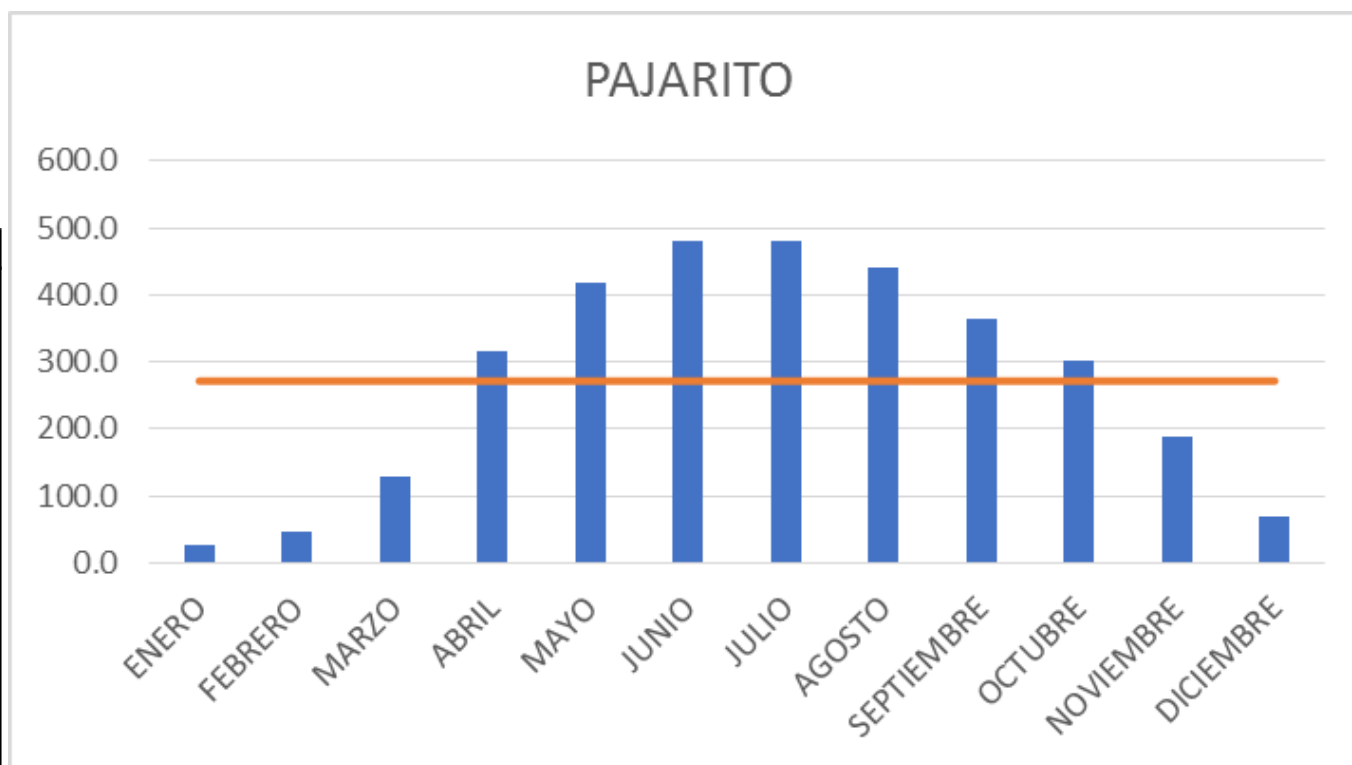
MACUCUANA	
ENERO	20.7
FEBRERO	39.5
MARZO	77.5
ABRIL	259.5
MAYO	322.8
JUNIO	317.5
JULIO	313.2
AGOSTO	268.2
SEPTIEMBRE	210.8
OCTUBRE	196.0
NOVIEMBRE	175.7
DICIEMBRE	68.6
Pmed	189.2



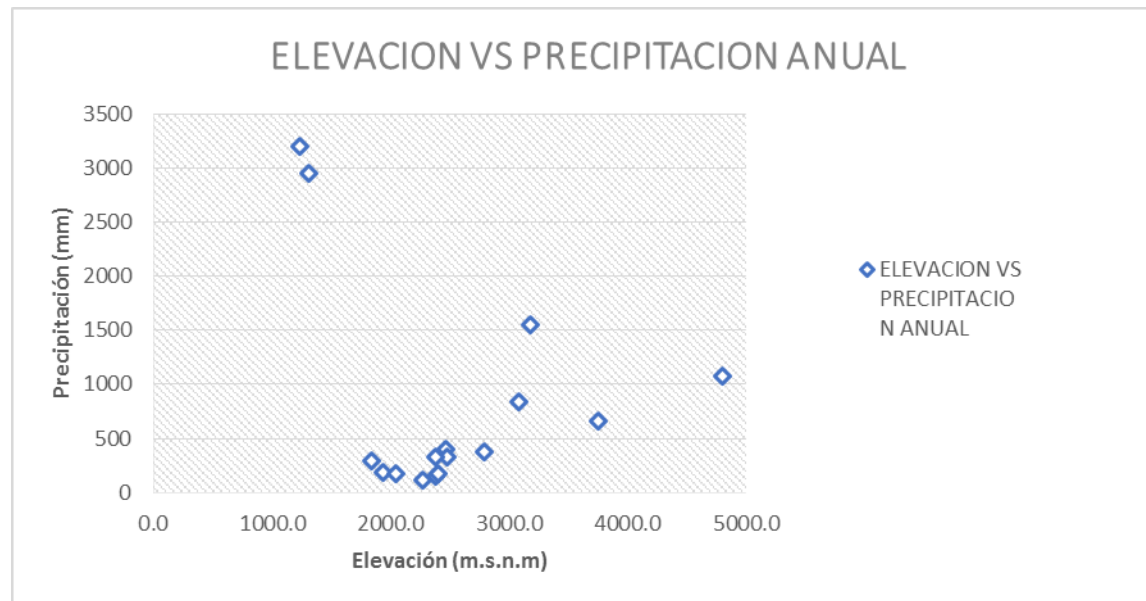
LA PRADERA	
ENERO	13.2
FEBRERO	34.3
MARZO	99.2
ABRIL	290.7
MAYO	369.3
JUNIO	304.4
JULIO	291.3
AGOSTO	271.4
SEPTIEMBRE	272.7
OCTUBRE	251.7
NOVIEMBRE	156.3
DICIEMBRE	48.5
Pmed	200.3



PAJARITO	
ENERO	25.7
FEBRERO	47.8
MARZO	129.9
ABRIL	317.1
MAYO	417.2
JUNIO	479.9
JULIO	481.5
AGOSTO	439.3
SEPTIEMBRE	362.8
OCTUBRE	302.2
NOVIEMBRE	188.5
DICIEMBRE	69.1
Pmed	271.7



ELEVACION VS PRECIPITACION ANUAL				
Tipo	Código	Nombre	P (mm)	E (msnm)
ME	35190020	Toquilla	1313.7	2950
ME	35195050	Corinto	3183.6	1550
ME	35190030	Chameza	4806.1	1080
ME	24030640	Nimicia Esc Rural	1239.3	3200
ME	35190040	Tamarindo	1846.4	290
ME	3521010	el morro	3757.3	656
ME	3521050	la chaparrera	2468.5	395
ME	3519530	Aguazul	2796.0	380
ME	35215010	Apto Yopal	2484.5	325
ME	35180040	La Poyata	2385.5	147
ME	35210040	Molinos de Casanare	2378.8	330
ME	35190070	San Jose	1938.2	190
ME	35230010	San Luis Palenque	2048.7	170
ME	35220040	Macucuana	2270.0	117
ME	35180010	La Pradera	2403.0	180
ME	3519050	Pajarito	3088.9	842





Estaciones	Toquilla	Corinto	Chameza	Nimicia Esc Rural	Tamarindo	el morro	la chaparrera	Aguazul	Apto Yopal	La Poyata	Molinos de Casanare	San Jose	San Luis Palenque	Macucuana	La Pradera	Pajarito
Toquilla	1	0.72	0.55	0.78	0.49	0.70	0.63	0.64	0.68	0.61	0.56	0.55	0.60	0.59	0.60	0.72
Corinto	0.72	1	0.66	0.74	0.62	0.82	0.78	0.81	0.79	0.71	0.70	0.74	0.73	0.67	0.76	0.84
Chameza	0.55	0.66	1	0.61	0.61	0.68	0.62	0.62	0.64	0.58	0.67	0.57	0.63	0.56	0.56	0.66
Nimicia Esc Rural	0.78	0.74	0.61	1	0.51	0.71	0.63	0.65	0.67	0.56	0.64	0.60	0.62	0.60	0.59	0.72
Tamarindo	0.49	0.62	0.61	0.51	1	0.59	0.60	0.66	0.67	0.63	0.72	0.59	0.60	0.54	0.68	0.64
el morro	0.70	0.82	0.68	0.71	0.59	1	0.77	0.81	0.80	0.74	0.72	0.75	0.77	0.72	0.73	0.83
la chaparrera	0.63	0.78	0.62	0.63	0.60	0.77	1	0.84	0.85	0.76	0.70	0.80	0.78	0.71	0.80	0.72
Aguazul	0.64	0.81	0.62	0.65	0.66	0.81	0.84	1	0.88	0.76	0.72	0.81	0.76	0.70	0.80	0.76
Apto Yopal	0.68	0.79	0.64	0.67	0.67	0.80	0.85	0.88	1	0.79	0.72	0.81	0.75	0.71	0.81	0.73
La Poyata	0.61	0.71	0.58	0.56	0.63	0.74	0.76	0.76	0.79	1	0.68	0.76	0.75	0.77	0.77	0.70
Molinos de Casanare	0.56	0.70	0.67	0.64	0.72	0.72	0.70	0.72	0.72	0.68	1	0.68	0.68	0.59	0.67	0.71
San Jose	0.55	0.74	0.57	0.60	0.59	0.75	0.80	0.81	0.81	0.76	0.68	1	0.72	0.66	0.77	0.68
x	0.60	0.73	0.63	0.62	0.60	0.77	0.78	0.76	0.75	0.75	0.68	0.72	1	0.74	0.70	0.72
Macucuana	0.59	0.67	0.56	0.60	0.54	0.72	0.71	0.70	0.71	0.77	0.59	0.66	0.74	1	0.69	0.64
La Pradera	0.60	0.76	0.56	0.59	0.68	0.73	0.80	0.80	0.81	0.77	0.67	0.77	0.70	0.69	1	0.70
Pajarito	0.72	0.84	0.66	0.72	0.64	0.83	0.72	0.76	0.73	0.70	0.71	0.68	0.72	0.64	0.70	1

TOQUILLA														
ESTACION	35190020													
ELEVACION	2950	msnm												
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VRANUAL	VR CORREGIDO
1995	7.5	14	53	81	141.5	202.5	124.5	128.5	97	77.5	29.5	58.5	1015	1015.0
1996	26.5	39.5	61.8612696	103.108719	125.258552	218.852554	217.848156	121.143576	143.387505	147.621688	81	33.5	180.5	1319.6
1997	40.5	41.5	44	67	150	130.5	304	174.5	54.2	70	14.5	11	1101.7	1101.7
1998	0.03	32.9500317	58.4600673	117	195.5	351.3	278.867758	120.8	89.2	87.7	72.5	129.9	1163.93	1534.2
1999	53.6	96.4	70.6451749	323.2	261.6	295.6	212.7	104.3	184.3	135.6	74	25.3	2122.6	1837.2
2000	46.7	53	39.1	68.1	96.5	122.3	210.9	291.3	189.5	68.5	71.7	73.2	1330.8	1330.8
2001	0	9.9	34.1	117.1	236.5	194.170281	117.9	328.5	152.8	193.4	76.5	30.3	1297	1491.2
2002	11	13.1	30.8	71.7	110	237	169.5	197	136	75	35	8	1094.1	1094.1
2003	0	0	83.5	40	166	157	65	48	211	209	113	112	1204.5	1204.5
2004	16	0	60	140	217.2	190	211	243.5	149	68	69	11.2	1374.9	1374.9
2005	69	54.2	4.3	142.7	161.6	139.3	131.2	179.4	126.7	192.3	77.7	0	1278.4	1278.4
2006	5	4.6	57.1	82.7	162.8	252.3	171.9	167.1	96.7	129.2	117.9	6.2	1253.5	1253.5
2007	2.5	30	35.7	76	71.6	231.7	98.4	188.1	109.8	177	51.3	18.2	1090.3	1090.3
2008	31.3	14	27.4	51.3	121.9	93.7	169.3	147	267.2	103	108.4	0	1134.5	1134.5
2009	4.6	7	19.7	74.3	70.8	166.3	249.1	109.7	44.6	40.8	42.5	0	829.4	829.4
2010	0	42.9	72.1	79.3	100.5	140	198.8	89.2	74.5	220.8	83.9	17.6	1119.6	1119.6
2011	5.2	56.4	64	124.2	215.1	143.2	171.7	104.3	156.1	124.5	37.8	0	1202.5	1202.5
2012	4.1	28	115.5	429.5	212.5	210	392.5	191.2	132.3	116	64	26.8	1922.4	1922.4
2013	0	34.4	38.2	83.3	134	157.7	226.7	199.4	145.9	111.5	95.2	53	1279.3	1279.3
2014	14.5	33.4	30.6	107	75.6	299.4	290	177.8	86.5	122.3	99	25.3	1361.4	1361.4
2015	9.8	18.1	43	119	158.3	411.4	257.1	226.5	114.9	70.1	78.7	62.1	1569	1569.0
M. CORREGIDOS	16.6	29.7	49.7	118.9	151.7	206.9	203.3	168.4	131.5	120.9	71.1	33.4	1302.1	1302.1
MEDIOS	16.6	29.5	63.6	119.7	153.0	206.9	198.5	170.8	130.9	119.6	71.1	33.4	1313.7	
MAXIMOS	69.0	96.4	115.5	429.5	261.6	411.4	392.5	328.5	267.2	220.8	117.9	129.9	2840.2	
MINIMOS	0	0	4.3	28.5	70.8	86	65	48	44.6	17.3	14.5	0	0	

CORINTO														
ESTACION	35195050													
ELEVACION	1550	msnm												
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VRANUAL	VR CORREGIDO
1995	35.2	53	167.7	265.8	429.1	528.3	396.5	244.5	352	286	168.4	125.3	3051.8	3051.8
1996	56.9	71.6	115.3	180	301.3	421.2	423.7	308.7	453.4	322	302	85.3	3041.4	3041.4
1997	52.5	108.8	65.4	230.7	409.4	306.6	526.3	363.6	306.6	199.1	178.9	36	2783.9	2783.9
1998	29.506686	91.6912967	283.5	421.7	679.8	632.1	592.8	344.3	286.1	188.8	182.6	212.4	3824.1	3945.3
1999	76.4	97.3	163.7	425.3	314.8	320.2	411.9	294.6	327.9	372	306.6	69.9	3180.6	3180.6
2000	45.8	56.1	119.8	154.2	361.1	341.3	356.6	369.8	332.9	330.4	216.5	86.2	2770.7	2770.7
2001	1.5	14.1	118.7	80.9	406.5	499	343.7	464.7	439	388.4	413	231.8	3401.3	3401.3
2002	35.4	28.8	192.7	203.8	313.2	556.3	335.9	424.8	428.5	178.2	169.6	65.5	2932.7	2932.7
2003	35.4	19.4	151.5	291.9	408.1	479.3	369.321119	435.2	296.6	338.3	354.5	132.5	2909.8	3312.0
2004	55.3	109.7	79.1	294.5	668.6	324.8	411.8	482.7	405.4	384.737941	267.5	71	3170.4	3555.1
2005	51.4	145.3	22.2	374.2	458.480078	351.9	303.8	426.5	413.7	572.7	286	45.3	2993	3451.5
2006	106.1	13.6	150	200.4	410.9	529.9	353.1	391.2	243.5	422	312.4	24.5	3157.6	3157.6
2007	37.4	27	249.3	206.9	411.4	335.1	210.3	518.6	258.9	435.3	230.8	87.9	3008.9	3008.9
2008	65.9	44.2	32.7	214.7	451.5	444	398.624784	401.9	270.3	389.5	265.8	37.7	2618.2	3016.8
2009	150.6	24.5	88.2	144.5	324.4	498	232	429.2	211.5	424.9	262.3	61.8	2851.9	2851.9
2010	1	37.5	239.1	485.9	581.6	309.5	657.5	252.1	244.6	289.2	362	146.9	3606.9	3606.9
2011	12.8	100.5	115	401	603.5	357.3	288.4	365.6	455.6	441.4	416.4	145.3	3702.8	3702.8
2012	32.1	64.6	317.3	366.7	331.2	473	522.9	491.3	319.2	303.2	234.6	108.8	3564.9	3564.9
2013	11.7	63.1	108.4	199	243.1	342.2	442.9	412.6	259.3	315.6	299.4	72	2769.3	2769.3
2014	37.1	65.4	65.1	204.6	258.1	344.2	236.2	494.4	443.4	289.1	203.6	124.1	2765.3	2765.3
2015	48.3	86.8	106	280.7	212.5	499.2	466	388.1	287.6	314.6	336.1	79.3	3105.2	3105.2
M. CORREGIDOS	46.6	63.0	140.5	268.0	408.5	423.5	394.3	395.4	335.0	342.2	274.7	97.6	3189.3	3189.3
MEDIOS	45.8	61.6	140.5	268.0	406.0	423.5	395.4	395.4	335.0	340.0	274.7	97.6	3183.6	
MAXIMOS	150.6	145.3	317.3	547.7	679.8	632.1	657.5	518.6	484.2	572.7	416.4	231.8	679.8	
MINIMOS	1	13.6	11.3	80.9	113.3	181.5	186.5	101.1	211.5	142.6	120.3	0	0	

CHAMEZA														
ESTACION	35190030													
ELEVACION	1080	msnm												
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VRANUAL	VR CORREGIDO
1995	55.0	40.8	99.2	336.0	353.1	320.3	351.4	328.2	275.3	287.3	222.9	68.0	2737.8	2737.5
1996	10.6	87.2	73.7	184.6	387.5	511.4	410.4	256.6	487.9	538.4	307.8	136.1	2365.9	3392.3
1997	74.0	77.5	96.4	235.5	497.3	317.8	563.2	259.6	253.0	249.6	249.8	44.3	2918.0	2918.0
1998	6.3	97.2	68.8	467.4	561.2	765.9	718.6	257.9	267.9	135.3	287.5	69.0	3703.0	3703.0
1999	144.4	69.3	178.8	432.1	452.0	479.0	682.1	406.6	336.2	622.8	151.1	22.8	4773.1	3977.2
2000	62.1	26.5	306.6	619.8	757.1	804.5	710.8	987.0	591.4	800.2	432.3	51.4	6149.7	6149.7
2001	9.5	3.8	237.3	298.8	672.5	985.0	785.8	534.2	754.2	458.2	548.4	393.7	5681.4	5681.4
2002	24.7	5.3	185.3	416.6	534.5	768.4	517.2	551.8	659.6	355.1	415.3	298.4	4707.5	4732.2
2003	12.5	13.9	340.5	513.7	788.0	884.0	469.0	852.7	626.5	310.3	411.2	260.0	5754.3	5482.3
2004	208.5	318.0	193.3	766.5	813.9	688.0	900.0	883.0	682.8	880.0	558.5	117.0	7512.5	7009.5
2005	327.0	183.5	631.5	868.0	602.5	782.0	1129.0	878.5	442.3	947.0	188.9	81.0	7897.2	7061.2
2006	51.9	73.0	168.0	465.8	943.2	939.0	775.0	724.4	236.0	219.5	254.5	71.0	4921.3	4921.3
2007	44.6	169.0	102.0	372.5	878.2	1009.0	919.0	652.0	187.0	362.5	185.5	119.0	5000.3	5000.3
2008	68.0	82.0	473.5	724.0	565.8	671.0	875.3	766.5	251.0	392.9	286.0	153.0	5309.0	5309.0
2009	0.2	41.6	275.7	383.0	451.9	346.6	651.4	294.5	230.3	373.7	272.0	249.5	3570.4	3570.4
2010	35.4	105.2	169.0	322.0	731.0	582.3	393.0	419.6	549.3	501.5	541.0	477.0	4826.3	4826.3
2011	48.0	82.5	497.0	1126.0	862.3	895.0	649.4	652.0	418.5	642.5	336.8	107.7	6912.3	6317.7
2012	22.0	77.7	355.4	472.5	528.4	420.0	525.3	663.7	376.2	348.9	291.0	139.2	4220.3	4220.3
2013	6.9	82.4	68.0	289.4	382.0	384.4	353.7	438.2	231.9	298.6	298.5	143.5	2977.5	2977.5
2014	46.5	17.5	32.7	305.0	395.0	641.1	554.2	404.2	298.9	195.4	258.9	126.4	3275.8	3275.8
2015	129.3	93.8	90.5	539.5	373.8	947.2	839.3	549.6	356.1	346.6	398.8	126.0	4664.6	4790.6
M. CORREGIDOS	66.1	83.2	221.1	482.8	596.7	673.4	655.9	560.0	405.3	441.3	328.4	1.0	4515.3	4515.3
MEDIO	64.9157895	82.695	227.635	479.96	607.87	740.285	716.215	560.56	403.594737	441.121053	324.895	156.4	4806.1	
MAXIM	327,0	318,0	631,5	1126	1295	2059	1478	1679	1727	1525	558,5	477,0	2059,0	
MINIMOS	1	13.6	11.3	80.9	113.3	181.5	186.5	101.1	211.5	142.6	120.3	0	0	

NIMICIA ESC RURAL														
ESTACION	24030640													
LATITUD	548	N												
LONGITUD	7246	W												
ELEVACION	3200	m,s,n,m,												
A#O	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	VR CORREGIDO
1995	3	19.1	65.6	91.6	95.5	150.4	127	142.6	58.4	55.1	38.9	53.6	900.8	900.8
1996	59.8	40.4	103.9	120.7	76.9	142.7	230.5	120.7	85.2	142.635553	89.3	34.6	1104.7	1247.3
1997	41.9	56.4	53.2	48.4	108.5	89.5	362.9	147.6	37.5	56	43.7	19.9	1065.5	1065.5
1998	8	23.2	82	81.2	184.8	275.6	168.2	179.7	56.6	66.6	46.7	16.1	1188.7	1188.7
1999	55.4	49.8	78.9	97.5	52.6	108.8	166.1	102.7	159	100.9	78.9	38.1	1088.7	1088.7
2000	50.3	45	85.9	63.2	122.1	101.9	112.5	176.3	152.2	130	35.6	65.5	1140.5	1140.5
2001	3.1	36	29.3	39.4	130.1	197.4	160.1	238.1	139.3	105.5	66.9	78.4	1223.6	1223.6
2002	11.3	8.6	72.1	87.8	117.8	302.1	200	214	72.4	74.3	37.3	33.4	1231.1	1231.1
2003	0	11.1	93.7	102	108.2	127.8	293.1	60	108.9	165.2	62.4	42.5	1174.9	1174.9
2004	5.5	37.2	32.7	145.3	179.9	249.4	135.5	221.9	108.7	101.2	65.4	60.8	1343.5	1343.5
2005	37.9	32.2	29.3	98.6	165.3	97.5	132.9	138.9	102.2	217.6	134.3	20.6	1207.3	1207.3
2006	27.6	2.2	93.1	158.1	137.8	171.6	237.1	155.5	80.5	104.2	93.1	51.3	1312.1	1312.1
2007	9.5	21.6	44.2	66.7	124.7	216.1	122.9	259.3	81.4	120	88.5	40	1194.9	1194.9
2008	32.1	33.2	69	59.8	125.9	161	201.5	137.7	116.8	100.4	131.7	12.7	1181.8	1181.8
2009	113.1	69	78.6	84.4	72.1	150.6	182	185.9	58.6	92.2	54.1	26.6	1167.2	1167.2
2010	1.3	15.7	66.5	172.5	174.7	166.5	209.6	151.5	112.3	197.6	162.6	65.4	1496.2	1496.2
2011	7.6	91.7	123.5	198.1	182.1	163.1	118.4	121.1	92.4	190.2	133.2	39.8	1461.2	1461.2
2012	39.4	9.4	112.1	318.7	90.2	124.5	230	163.8	102.8	145	90.4	24.8	1451.1	1451.1
2013	5.5	48.2	29.8	110.8	130.2	114.5	214.5	106.2	84.8	99	85.5	14.8	1043.8	1043.8
2014	13.7	54.7	42.3	57.2	80.9	231.5	270.8	119.6	136.6	143.4	115.2	28.1	1294	1294.0
2015	24.3	27.9	108.6	118.2	146	416.5	271.7	261.6	107.6	47	71.2	38.9565924	1600.6	1639.6
M. CORREGIDOS	26.2	34.9	71.2	110.5	124.1	179.0	197.5	162.1	97.8	116.9	82.1	38.4	1240.7	1240.7
MEDIOS	26.2047619	34.8857143	71.1571429	110.485714	124.109524	179	197.490476	162.128571	97.8190476	115.57	82.1380952	38.35	1239.3	
MAXIMOS	113.1	113.7	130	318.7	205.6	416.5	364	261.6	169	260.4	193	114.2	416.5	
MINIMOS	0	2	4	24	37.4	30	112.5	60	37.5	37.9	32	3	0	

TAMARINDO														
ESTACION:	35190													
LATITUD	500	N												
LONGITUD	7232	W												
ELEVACION	290	m, s, n, m												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VALOR ANUAL	VR CORREGIDO
1995	62	2	16	319	484	318	248	234	221	282	67	65	2418	2318.0
1996	0	39	70	189	314	368	314	121.04722	245	318	94	32	1983, 0 3	2104.0
1997	0	33	17.913191	248.521217	238.165314	166.057135	296.136871	165.482195	169.730813	99.153347	89.5813826	2.07179861	33, 0 3	1525.8
1998	10.8729896	27.5475376	64.269238	306.224036	293.282332	307.644728	356.870841	190.897947	355.2	270.5	249.8	32.8	908, 3 3	2465.9
1999	0	8.2	73.1	488.9	278	167.7	267.2	118	213.3	316.9	65	0	2096.3	1996.3
2000	23.9	4.2	40.7	242.7	390.7	415.2	288.3	248.5	174.6	242.6	365	114	2550.4	2550.4
2001	0	0	51.6	157.1	271.5	262.149518	218.13134	165.087136	230.782134	176.076353	171.19696	88.8732586	480, 2 3	1792.5
2002	4.35908839	1.45003157	91.8765478	252.5	277	245	300	497.2	425.5	93	47	44	2181, 2 3	2278.9
2003	0	0	43	268	247	273	452	165.109257	253.352749	221.58078	159.290874	46.0462992	1383, 0 3	2128.4
2004	2.81573509	14.2909491	24.175696	418.2	223.3	238.8	106.6	164.7	160.1	190.1	132.1	0	1633, 9 3	1675.2
2005	62.6	0	90.6	108.8	207	342	169.085298	448.6	171.5	225.6	237.2	0	1273, 8 3	2063.0
2006	0	14.6	39.8	218.9	553.7	319.1	152.8	99.3	356.5	191.6	30.9	18.2	2095.4	1995.4
2007	0	1.8	9.9	121.5	321	417.5	295.5	209.2	216.766259	149.4	225	1.3	1752, 1 3	1968.9
2008	17.7	21.5	13	342.5	292.3	484.8	173.1	281.1	227.618996	191.4	47.5	0	1964, 9 3	2092.5
2009	0	27.7	23.5	435	315.6	290	154	197.5	86	109.2	177	28	1943.5	1843.5
2010	15	39	24.5	126	250	149.2	229.5	100.5	255	172.8	130.5	28	1520, 0 3	1520.0
2011	0	4	94.5	213	115	160.5	304	75.5	124.5	142	82.5	63.5	1379	1379.0
2012	0	9.5	45.5	216	128	149.3	236	99.5	106.5	75	147	25	1237.3	1237.3
2013	0	33	9.5	155.5	146	212.5	176	64	53.5	214.5	68	4.5	1137	1137.0
2014	17	0	23	205.5	121.5	189	173.5	98	96	116.9	57.5	11.5	1109.4	1109.4
2015	22.9516613	10.3608896	14.614263	257.472188	149.9156	278.247068	250.166645	135.704649	152.936407	156.561457	162.259087	23.00	1614.19202	1614.2
M. CORREGIDOS	11.4	13.9	42.0	251.9	267.5	274.0	245.8	184.7	204.5	188.3	133.6	29.9	1847.40845	1847.4
MEDIO	11.7	14.0	41.8	248.8	274.2	278.8	241.9	177.6	205.2	194.2	130.8	27.5	1846.40544	
MAXIM	62.6	71	78.5	534	722	661	658	497.2	425.5	595	365	185	722	
MINIM	0	0	9.2	50.5	37.1	25.3	106.6	64	53.5	75	20	0	0	

EL MORRO														
ESTACION:	3521010													
ELEVACION	656	N												
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	VR CORREGIDO
1995	2	10	146	547	552	666	496	261.791319	417.695312	381.147599	99.7469636	46	2465	3625.4
1996	5	273	110	320	408	624.332232	569.614334	344.124871	510	562	138	111	2437	3975.1
1997	10	102	55	252	521	434	577	269	269	222	281	0	2992	2992.0
1998	0	0	0	514	755	624	752	536	549	276	327	167	4500	4500.0
1999	63	258	212	406	354	542	571.9	356	463	331	237	68	3861.9	3861.9
2000	28	27	276	256	505	410	513	464	697	507	170	76	3929	3929.0
2001	0	0	142	246	504	422	352	211	269	116	113	367	2742	2742.0
2002	1	10	203.8	253	213	999	173	155	205	331	250	129.2	2923	2923.0
2003	0	18	245	579	860	648	632	559	495	424	342	84	4886	4886.0
2004	0	66	92	383.1	804.3	539.6	534.5	621.5	547	524	419.7	86.9	4618.6	4618.6
2005	23.3	132.3	53.4	605.4	622.6	686.5	448.6	507.7	540.4	553	337.5	1.9	4512.6	4512.6
2006	82.6	0	130.6	245.5	336.7	603.9	738.5	789.5	273	369	164.9	25.7	3759.9	3759.9
2007	0.6	53.9	207.2	379.8	746.9	510.9	383.7	406.7	372.4	546.9	141.2	75.7	3825.9	3825.9
2008	25.7	11.7	19.8	240.6	556.4	583.4	638.1	341.4	675.5	549.7	227.3	22.173382	3869.6	3891.8
2009	59.4	15.3	34.3	211.3	484.1	539.5	290.3	496	248.1	552	138.9	3.5	3072.7	3072.7
2010	0	79.6	389.1	431.8	654.8	461.7	614.6	457.3	242.7	355.6	276.1	84.4	4047.7	4047.7
2011	7	18	34.2	281.6	630.9	394	417.8	350.9	454.6	397.2	412.9	27.5	3426.6	3426.6
2012	0	2.5	244.4	922.5	489.5	459.8	664.3	374.9	483.6	455.9	110	102.3	4309.7	4309.7
2013	0	5.8	158.1	269.5	389.2	403.8	601	319	310.719338	189	171.2	49	2555.6	2866.3
2014	0.5	39.8	27.9	446.1	269.6	543.3	560.6	413	263.6	301.5	122	47.5	3035.4	3035.4
2015	66.8	95.7	34.5	334.9	244.7	684.2	686.5	570.5	380.5	212.8	257.7	74.4	3643.2	3643.2
M. CORREGIDOS	17.9	58.0	134.1	386.9	519.1	560.9	534.0	419.3	412.7	388.4	225.6	78.5	3735.5	3735.5
MEDIOS	17.852381	58.0285714	134.061905	386.909524	519.128571	557.78	532.27	431.494737	417.810526	388.78	231.87	81.35	3757.33622	
MAXIMOS	82.6	323	389.1	922.5	860	999	752	789.5	697	685.4	508	367	999	
MINIMOS	0	0	0	96	213	340.5	173	155	27	116	57.6	0	0	

LA CHAPARRERA														
ESTACION:	3521050													
ELEVACION	395	N												
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	VR CORREGIDO
1995	15.5830117	12.2644966	86.5600232	342.921023	386.291467	389.8107	338.8268	250.165228	275.938874	296.926459	99.3518863	45	45	2539.6
1996	5.4	0	58.2	214.690721	238.5	458.7	283.8	242.578671	288.445943	310.622778	57.3	87.6	1189.5	2245.8
1997	0	97.7	49.4	169.4	251.6	209.9	446.2	318.1	343.3	123.8	70.3	0	2079.7	2079.7
1998	0	128.4	176.5	463.2	330.8	311.3	311.3	348.5	333.7	223.4	115.399761	27	2654.1	2769.5
1999	18.5	258.4	47.9	371.3	206.3	212.1	303.9	273.1	352.2	183.2	141.6	49.3	2417.8	2417.8
2000	10.2	7.9	203.4	144.3	480.1	154.2	378.7	374.2	275.5	224.5	123.5	145.6	2522.1	2522.1
2001	0	0	24.5	256.8	408.6	382.9	297.5	288	191.3	275.3	64.9	141.3	2331.1	2331.1
2002	0	0	128.7	211.8	317	222	209.5	339.5	321	158.5	188	79.6727956	2096	2175.7
2003	0.531614	6.02803427	126.002338	323.040891	202.5	223.2	185	305.5	358	206.9	134.8	31	1646.9	2102.5
2004	0	88.8	100	340.3	589.6	289.5	299.6	257.5	235.6	312.675067	174.825001	58.4218839	2200.9	2746.8
2005	25	47.8	24.2	511.9	342.5	414.9	171.5	277.7	304.9	274.6	148.5	6	2549.5	2549.5
2006	16.5	0	134.3	74.7	600	335.4	313.5	325.7	180.9	311.1	286.9	0	2579	2579.0
2007	0	20.5	116.9	121.2	339.4	206	229	239.3	371	343.5	101	66.1195441	2087.8	2153.9
2008	0	0	43.6	197	367	432.699085	392.8	189	386	229.4	112.1	11.9	2629.8	2361.5
2009	10	4	123.8	222.7	330.9	459.2	251.6	380.4	231	222.1	132.6	7.1	2375.4	2375.4
2010	0	17.8	133.7	273.8	515.9	503.5	349.5	409.6	184.4	195.1	217.1	47.5	2847.9	2847.9
2011	11.5	78.2	20.6	397.1	507.97453	291.7	285.1	356.2	250.7	431.9	317.1	37.6	3286.7	2985.7
2012	0	27.2	213.4	391	312.7	398.7	383.2	397.8	170.1	425.6	141.7	100.4	2961.8	2961.8
2013	0	11.8	121.4	217.2	195.2	200.9	334.1	235.8	231.1	142.2	113.3	23	1826	1826.0
2014	0	33.5	46.4	452.4	360.1	338.9	378	218.3	103.9	309.6	88.2	67.5	2396.8	2396.8
2015	20.5	85.6	40.7	170.1	224.9	475	416.3	166	250.4	348.7	125.5	144.5	2468.2	2468.2
M. CORREGIDOS	6.4	44.1	96.2	279.4	357.5	329.1	312.3	294.9	268.5	264.3	140.7	56.0	2449.4	2449.4
MEDIOS	6.18947368	47.7684211	95.1368421	277.011111	371.13	339.45	311.005	300.010526	267.105263	257.188889	142.466667	54.0166667	2468.47886	
MAXIMOS	25	258.4	213.4	511.9	809	701	446.2	409.6	386	431.9	317.1	145.6	809	
MINIMOS	0	0	20.6	74.7	195.2	154.2	171.5	144.9	103.9	123.8	57.3	0	0	



AGUAZUL														
ESTACION:	3519530													
ELEVACION	380	N												
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	VR CORREGIDO
1995	53	7	124	301.4	551	607.7	394	100.4	280.9	245.4	61.4	132	2858.2	2858.2
1996	0	40.3	79	172	309	428	378	341	372	442.5	84	51	2696.8	2696.8
1997	0	93	56	331	387	213	445.901476	254.444825	295.850917	225.1	114.8	0	1419.9	2416.1
1998	0	73.2	185.6	404.1	400.3	343.9	511.4	343.5	395.7	209	2.7	38.9	2908.3	2908.3
1999	34.7	152.9	41.8	68.2	305.8	409.7	374.5	148.6	367.5	291.7	214.2	1.5	2411.1	2411.1
2000	34.3	72	141.5	146.2	432.3	274.6	306.5	424.2	336.6	319.5	117.809209	79.4928681	2487.7	2685.0
2001	0.05986962	1.80709094	125.478766	155.280914	442.53739	387.770045	241.168172	243.892378	310.362608	232.750329	183.222321	114.6	114.6	2438.9
2002	2.2	2.1	305.7	332.8	334	593.1	433.4	581.1	467.1	196.9	153.3	92.2	3493.9	3493.9
2003	0	0	117.5	425.2	418.7	459.457213	249.2	183.2	473.4	258.9	243.3	52.8	2422.2	2881.7
2004	0	20.5	125.8	451.8	626.4	351	382.8	441.7	464.9	355.573555	212.708677	58.1493494	2864.9	3491.3
2005	18	95.0733873	3.6	404.713993	474.936341	276.4	178	274.1	325.6	203.3	150.5	8.6	1438.1	2412.8
2006	40.4755486	0	191	134.7	532.3	561.6	303.2	474.9	194.9	255.9	302.1	18.2	2968.8	3009.3
2007	0	31.2	291	296.9	689.8	341.6	257	228.7	378.6	435	62.1	68.3	3080.2	3080.2
2008	3.3	8.7	35	237.3	483.1	620.4	414.5	248.1	393.1	183.4	253.9	1.4	2882.2	2882.2
2009	54.3	27.3	95.7	283.7	291.8	707.1	316.2	470.9	141.7	285.339544	57.7	0.9	2447.3	2732.6
2010	0	24.7	201.4	170.4	453.3	433.8	169.1	169.1	170.9	344.3	200.1	81.4	2418.5	2418.5
2011	25.5	94.1	26.1	471.7	625.5	347.3	321.3	242.4	457.9	380	292.9	74.9	3359.6	3359.6
2012	0	9.2	296.4	392	282.5	310.3	449.9	396.6	185.5	408.7	183.5	71.5	2986.1	2986.1
2013	0	26.6	122	282.1	334.3	313.6	484.8	269.7	288.4	255.8	273.4	18.6	2669.3	2669.3
2014	0.3	79.8	13.7	242.7	411.8	350.1	429.7	290.9	223.5	277.9	69.2	24.8	2414.4	2414.4
2015	17.5	17.3	50.9	292.1	228.2	309.8	430.2	274.1	339.4	242.3	215.2	40.2	2457.2	2457.2
M. CORREGIDOS	13.5	41.8	125.2	285.5	429.3	411.4	355.8	304.8	326.8	288.1	164.2	49.0	2795.4	2795.4
MEDIOS	12.7947368	41.0473684	125.185	286.121053	426.163158	410.157895	357.036842	310.694737	329.347368	287.533333	163.016667	46.9368421	2796.035	
MAXIMOS	71.3	281.6	305.7	571.1	689.8	707.1	709	770	555.9	584.2	314	132	770	
MINIMOS	0	0	3.6	68.2	191.4	204	169.1	100.4	73.4	151.3	2.7	0	0	

APTO YOPAL														
ESTACION:	3521501													
LATITUD	519	N												
LONGITUD	7223	W												
ELEVACION	325	m, s, n, m												
A#O	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	VR CORREGIDO
1995	7	45.5	79.9	273.7	329.1	297	312.5	232.296809	157	365	52	32	1950.7	2183.0
1996	16.3	56.1	91.7	286.9	421.7	451.7	470.7	98.3	235.8	349.1	72.4	54.1	2604.8	2604.8
1997	0	103.3	53.9	312.4	312.4	159.5	302.3	258.7	150.4	95.1	91.5	0.3	1839.8	1839.8
1998	31	44	68.9	228.2	199.9	339.5	613.7	267.7	295	385.1	48.4	8.8	2530.2	2530.2
1999	9.8	225.7	27.7	293.575654	251.011552	299.7	287	224.9	375.4	271.8	93.4	1.2	1816.6	2361.2
2000	31.8	15.4	220.5	184.2	488	160.8	369.2	419.3	363.8	297.1	124.1	70	2744.2	2744.2
2001	0	1.6	53.5	144.1	418.5	232.4	283.6	192.3	273.2	227.7	185.9	169	2181.8	2181.8
2002	2.1	0	289.7	243.1	249.5	394.7	372.5	459.1	389.5	99.7	83.3	75.3	2658.5	2658.5
2003	0	4.1	125.1	274.5	397.4	341.6	224.2	292.3	470.8	365.7	184.4	74.9	2755	2755.0
2004	0	72.4	119.1	319.9	378.5	315.7	374.6	369.5	303.8	329.5321	183.204346	49.0412625	2253.5	2815.3
2005	3.9	118.3	46	324	413.9	411	164.9	351.5	190.4	207	150.6	1.8	2383.3	2383.3
2006	31	0	222.2	140.1	571	287.2	422.5	386.9	206.1	291.3	275	2.4	2835.7	2835.7
2007	0	33.2	240.6	167.9	545.3	278.9	208.9	193.7	264.3	287.9	59	4.8	2284.5	2284.5
2008	0.1	7.4	19.3	285.2	450	450.5	343.7	209	183.8	219.6	129.8	2.1	2300.5	2300.5
2009	51	17.5	93	188.2	248.6	568.7	282.6	443.4	202.6	144.5	130.3	8.8	2379.2	2379.2
2010	0	31.1	191.7	361.5	390.5	308.7	439.1	200.7	205.1	287.8	194.3	51.1	2661.6	2661.6
2011	13.1	66.7	29.1	399.9	691.1	231.9	310.8	241.2	321.7	273	225.7	79.7	2883.9	2883.9
2012	0	24.3	290.3	450.2	358.8	366.1	536.7	336.4	156.6	495.4	138	92.1	3244.9	3244.9
2013	0	6.3	135.8	197.2	337.4	168.4	427.9	194.3	157.6	189.8	227.6	22.2	2064.5	2064.5
2014	0	25.9	2	316	205.5	330.6	431	323.7	176.6	297.1	117.6	7.9	2233.9	2233.9
2015	25.6	35.6	27.6	373.4	192.8	420.2	338.5	126.9	208.8	179.8	224.8	33.2	2187.2	2187.2
M. CORREGIDOS	10.6	44.5	115.6	274.5	373.9	324.5	357.9	277.2	251.8	269.5	142.4	40.0	2482.5	2482.5
MEDIOS	10.6047619	44.4952381	115.6	273.53	379.995	324.514286	357.947619	279.49	251.82381	266.475	140.405	39.585	2484.46571	
MAXIMO	51,0	261,7	290,3	653,5	691,1	568,7	613,7	464,2	470,8	495,4	359,2	169,0	691,1	
MINIMO	0,0	0,0	2,0	79,7	52,6	42,2	21,5	98,3	150,4	81,2	48,4	0,0	0,0	

LA POYATA														
ESTACION:	4351800													
LATITUD	426	N												
LONGITUD	7209	W												
ELEVACION	147	m, s, n, m												
A#O	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	VR CORREGIDO
1995	29.0	0.0	175.0	477.0	295.0	376.0	305.0	293.0	263.2	330.0	162.0	28.0	2733.2	2733.2
1996	0.0	92.0	104.0	255.0	445.0	376.0	193.0	141.0	361.0	165.0	205.0	188.0	2525.0	2525.0
1997	0.0	79.0	10.0	270.0	508.0	303.0	288.0	296.0	225.0	75.0	69.0	12.0	2135.0	2135.0
1998	0.0	118.0	134.0	260.0	377.0	300.0	271.0	269.0	148.0	270.0	94.0	20.0	2261.0	2261.0
1999	7.0	78.0	150.0	318.0	326.0	351.0	140.0	97.0	238.0	128.0	67.0	27.0	1927.0	1927.0
2000	26.0	12.0	39.0	210.0	357.0	247.1	287.0	278.2	326.9	210.5	99.3	158.2	644.0	2251.2
2001	6.0	8.7	56.4	175.6	409.2	306.7	209.8	165.5	227.1	188.4	125.9	114.0	114.0	1993.2
2002	0.0	0.0	120.0	126.0	335.0	162.0	341.0	348.0	222.0	123.0	140.0	20.0	1937.0	1937.0
2003	0.0	0.0	63.0	251.0	253.0	419.0	307.0	242.0	310.0	241.0	278.0	70.0	2434.0	2434.0
2004	0.0	112.0	38.0	218.0	379.0	487.0	407.0	181.0	300.0	276.0	119.0	102.0	2619.0	2619.0
2005	55.0	198.0	103.0	408.0	399.0	314.0	199.0	276.0	211.4	199.5	108.0	0.0	2060.0	2470.9
2006	51.0	0.0	138.0	138.0	356.0	412.0	377.0	328.0	222.0	388.0	74.0	0.0	2484.0	2484.0
2007	0.0	0.0	296.0	231.0	460.0	382.0	173.0	118.0	355.0	127.0	90.3	69.0	2301.3	2301.3
2008	0.0	6.0	39.0	178.0	388.0	415.0	332.0	309.0	221.0	218.1	166.1	4.6	1888.0	2276.8
2009	84.0	21.0	112.0	425.0	226.0	365.0	411.0	304.0	210.0	264.0	173.0	0.0	2595.0	2595.0
2010	0.0	62.0	165.0	387.0	271.0	417.0	232.0	374.0	166.0	162.0	99.0	82.0	2417.0	2417.0
2011	69.0	87.0	86.0	296.0	402.0	287.0	333.0	224.0	351.0	163.0	126.0	89.0	2513.0	2513.0
2012	0.0	68.0	194.0	298.0	451.0	269.0	442.0	218.0	362.0	317.0	135.0	49.0	2803.0	2803.0
2013	0.0	69.0	120.0	245.0	306.0	153.0	300.0	158.0	305.0	186.0	202.0	15.0	2059.0	2059.0
2014	0.0	61.0	62.0	511.0	333.0	311.0	280.0	141.0	240.0	428.0	171.0	75.0	2613.0	2613.0
2015	51.0	21.0	48.0	289.0	285.0	295.0	298.0	163.0	125.0	296.0	194.0	168.0	2233.0	2233.0
M. CORREGIDOS	18.0	52.0	107.3	284.1	360.1	330.8	291.7	234.5	256.6	226.5	138.0	61.5		2361.0
MEDIOS	18.6	54.2	109.8	289.55	357.6	336.526316	296.263158	235.789474	256.9	231.705882	139.238889	59.3684211	2385.54214	
MAXIMO	90,0	198,0	394,0	640,0	661,0	730,0	635,0	679,0	614,0	706,0	313,0	188,0	730,0	
MINIMO	0,0	0,0	7,0	100,0	97,0	153,0	140,0	97,0	125,0	75,0	55,0	0,0	0,0	

MOLINOS DE CASANARE														
ESTACION:	3521004													
LATITUD	524	N												
LONGITUD	7218	W												
ELEVACION	330	m, s, n, m												
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	VR CORREGIDO
1995	15.8516656	15.247021	79.5865901	326.247203	402.679266	381.729381	333.398259	223.874688	252.524657	278.355723	89.3	29.5	118.8	2428.3
1996	0	2.4	24.3	111.9	263.2	390.1	258	141.5	329.7	305.6	65.3	67.9	1959.9	1959.9
1997	0	85.1	32.6	243.4	358.8	169.8	361.8	237.2	201.5	97	100.8	0	1888	1888.0
1998	5	61.5	207.6	388	387.4	325.8	419.1	334.4	288.2	304.4	80.1	18.7	2820.2	2820.2
1999	12.1	192.5	59	296.8	180.6	247.6	273.9	164.5	360	243.6	163.3	17.7	2211.6	2211.6
2000	25.8	13.8	216.8	189.7	316	136.5	379.8	412.4	344.6	345.8	117	80.6	2578.8	2578.8
2001	0	0	99.4657094	152	365.9	296.925103	273.826142	236.344625	233.522282	217.921934	139.197169	147.5	665.4	2162.6
2002	4.5	0	274.1	256.9	81.6	190.9	288.4856	419.232268	311.89706	145.731348	159.540724	75.8276692	808	2208.7
2003	75.8276692	0.79806141	9.4	476	370.5	400	245.6	311	35	271	65	83	2266.5	2343.1
2004	0	25	0	427.9	364.2	282.4	285.4	263.9	455.9	178.4	128	3	2414.1	2414.1
2005	13.6	0	29.1	199.1	617.7	345.8	384.9	457	267.5	206.8	288	2.5	2812	2812.0
2006	0	24.2	149.2	140	457.8	158.6	207.2	188.6	327.3	326.8	49.4	32.6	2061.7	2061.7
2007	0	9.2	27.2	408.3	493.7	587.4	434.5	230.8	205	197	116.4	2.2	2711.7	2711.7
2008	18.1	17.2	114.7	243.1	255.8	412.6	260.4	571.6	263.3	155.3	153.3	2.2	2467.6	2467.6
2009	0	7.5	106.5	300.9	487.5	346.7	333	319.4	187.8	244.6	189.3	38.5	2561.7	2561.7
2010	6.6	35.5	68.9	297.5	487.2	214.9	273.5	295.2	286.5	399.8	368.2	51.8	2785.6	2785.6
2011	0	25.4	154.5	390.5	197.7	320.9	461.8	266.7	175.5	359.3	161.8	78.9	2593	2593.0
2012	0	7.5	116	214.1	252.8	240.7	355.4	247.2	190.7	131.3	203.9	16.9	1976.5	1976.5
2013	0	96.8	4.3	357.4	266.3	327.6	362.2	284	100.8	399	84.7	13.6	2296.7	2296.7
2014	25.8	56.4	24.6	190.8	259.7	558.9	381.3	126.9	209.4	237.4	234.4	44.1	2349.7	2349.7
2015	13.0581418	41.264187	36.3506435	284.219048	204.199527	380.941064	402.513899	254.854717	227.896827	230.585994	175.034159	43.3154477		2294.2
M. CORREGIDOS	10.3	34.2	87.3	280.7	336.7	319.8	332.2	285.1	250.2	251.2	149.1	40.5		2377.4
MEDIOS	6.19444444	36.6666667	89.9333333	278.121053	340.231579	314.288889	333.988235	285.429412	248.747059	259.005882	147.677778	38.4842105	2378.76854	
MAXIMO	25, 8	192, 5	274, 1	476, 0	617, 7	587, 4	461, 8	571, 6	455, 9	399, 8	368, 2	147, 5	617, 7	
MINIMO	0, 0	0, 0	0, 0	111, 9	81, 6	136, 5	207, 2	126, 9	35, 0	97, 0	49, 4	0, 0	0, 0	

			SAN JOSE											
ESTACION:	3519007													
LATITUD	505	N												
LONGITUD	7227	W												
ELEVACION	190	m, s, n, m												
A#O	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	VR CORREGIDO
1995	73	5	35	258	294	295	355	200	184	408	81	2	2190	2190.0
1996	0	34.866194	71.5018179	178.9	312.3	381.7	264	245.2	122.1	296.421134	132.7	47.4	1684.3	2087.1
1997	0	72.8	44.9	133.8	207.8	135.9	413.5	169.9	174.1	54.5	144.5	0	1551.7	1551.7
1998	0	16.1	69.1	357.6	258.1	450.7	353.2	181	295.4	202.5	187.5	19	2390.2	2390.2
1999	31	48	102	60.5	85.5	156.5	185	104.8	208.5	314.4	134.7	5.5	1436.4	1436.4
2000	24.2738613	11.1152547	127.8	85.4	392.7	235	189.8	221.9	343.5	176.6	43.6	64.4	1880.7	1916.1
2001	0	0	27.9	112	289.167245	275.01003	106.8	74.8	86.9	370	232.8	50.8	1062	1626.2
2002	1.5	0	79.7	59	177.2	186.5	350.9	277.031693	74	128.8	17.9	6	1081.5	1358.5
2003	0.94156931	3.29112868	97.8239231	284.965662	294.483478	305.978385	222.672093	221.911261	212.815693	267.347837	163.241307	34.5761793		2110.0
2004	3.32794003	30.6630534	173	237.7	396.4	294.920323	308.6	323.8	234.7	262.510157	160.242838	35.2	1709.4	2461.1
2005	16.8	33	27	314.01427	324.7	273.6	116	188.8	156.8	230.5	113.6	0	2214.9	1794.8
2006	2	0	144.8	177.7	449.1	245.5	268.6	275.9	179	217.2	140.2	24.5	2124.5	2124.5
2007	0	29	174.5	210.3	450.2	356.3	100	129.1	419.3	269.1	57.1	12.5	2207.4	2207.4
2008	3.5	4.2	6.5	176	341.2	395.7	291.7	294.9	139.2	212.6	223.7	0	2089.2	2089.2
2009	18	56	144.6	161.5	231	479.2	191	323.4	189.5	252.5	52	0	2098.7	2098.7
2010	0	24.5	200.3	337	288.1	339	336.4	297	111.5	146.7	234.8	49	2364.3	2364.3
2011	0	53	3	396	360	145.5	243	156.2	254.6	289.5	114.2	74	2089	2089.0
2012	0	0	123	279.2	177.7	358	381.4	214.2	117.5	348	150	50	2199	2199.0
2013	0	0	96	185.2	117.2	138.8	240.4	147.9	119.5	141.5	210	28	1424.5	1424.5
2014	0	50.5	12	182	221.7	289.3	174.3	173.4	61.5	377.5	99	10	1651.2	1651.2
2015	29.6	2	11.6	202.9	134.5	210.5	298.5	200.9	98.4	157	132	10	1487.9	1487.9
M. CORREGIDOS	9.7	22.6	84.4	209.0	276.3	283.3	256.7	210.6	180.1	244.0	134.5	24.9	1936.1	1936.1
MEDIOS	9.74444444	23.1823529	84.3526316	226.24	274.705263	281.816667	258.405	206.478947	178.5	238.716667	131.647368	24.415	1938.20434	
MAXIMO	73, 0	195, 0	200, 3	734, 1	453, 9	509, 0	471, 0	401, 9	419, 3	408, 0	283, 0	107, 0	734, 1	
MINIMO	0, 0	0, 0	0, 0	20, 1	79, 0	113, 0	100, 0	74, 8	61, 5	31, 6	17, 8	0, 0	0, 0	

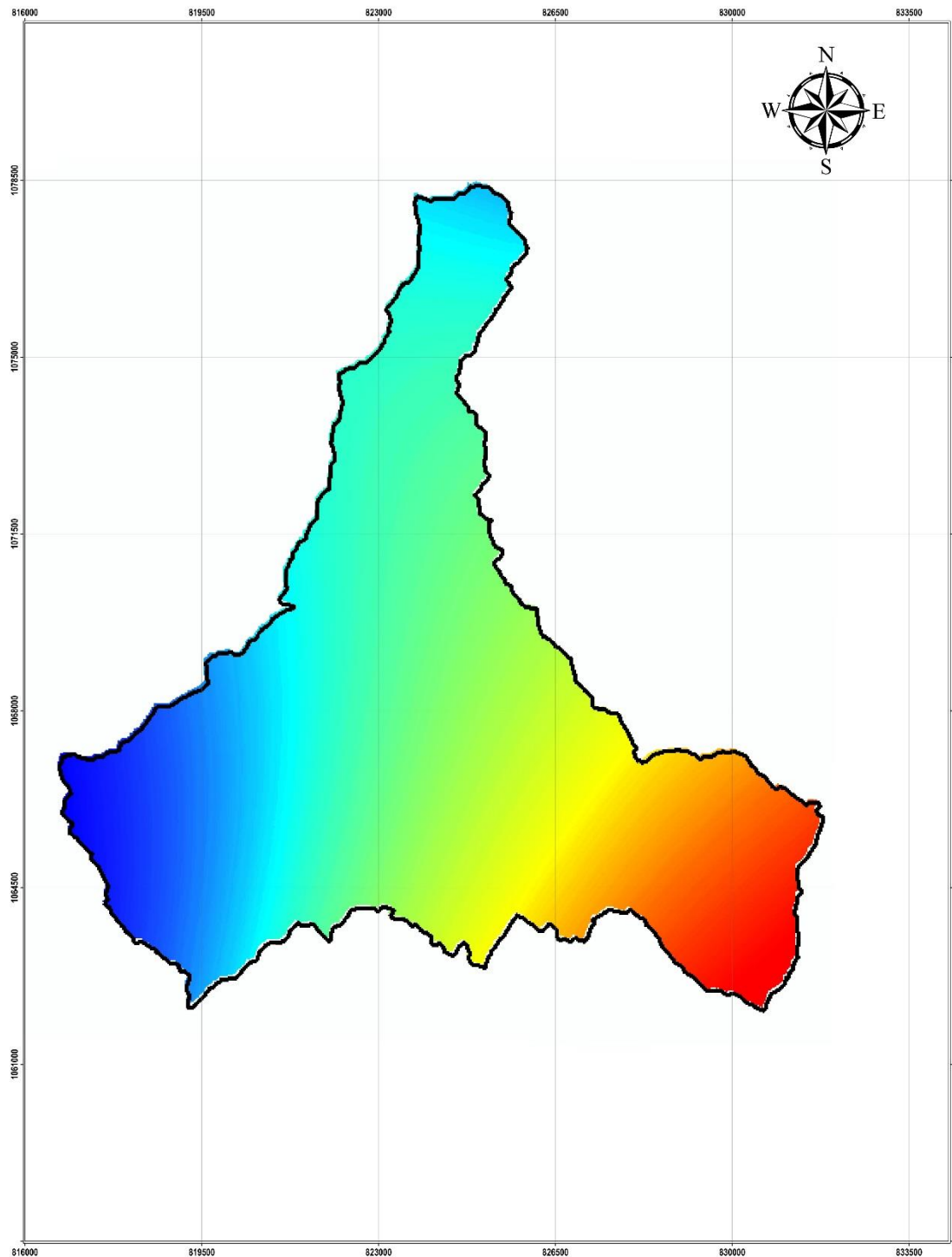
SAN LUIS DE PALENQUE														
ESTACION:	3523001													
LATITUD	525	N												
LONGITUD	7143	W												
ELEVACION	170	m, s, n, m												
A#O	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	VR CORREGIDO
1995	20	0	49.1	451.7	215.5	318.3	466.1	215.6	215.9	210.3	130.8	67.9	2361.2	2361.2
1996	0	43.8	36.7	106.5	139.9	256.1	159.7	125.7	252.3	200.5	76	20.5	1417.7	1417.7
1997	0	92.2	13.3	240	420.8	185.2	343.2	85.3	301.4	232.6	120	0	2034	2034.0
1998	0	74.6	52.2	362.9	333.2	451.5	246.9	294.3	399	207	130.7	0.9	2553.2	2553.2
1999	5	220.7	46.9	233.8	123.5	305.2	463.6	128.8	107.8	227.1	173.3	44.2	2079.9	2079.9
2000	48.2	0	32.3	132.9	508.1	264.9	307.6	197.2	209.8	314.2	127.5	174.8	2317.5	2317.5
2001	0	0.6	80.8	89.2	349.7	344	82.5	241.6	254	56.5	67.3	89.2	1655.4	1655.4
2002	0.6	1.60707436	155	100.7	158.1	223.5	319.2	314.2	258.2	132.071225	127.524384	81.3	1610.8	1872.0
2003	0	0	119.4	142.6	327.6	334.1	222.6	392	202	300.5	95.4	75	2211.2	2211.2
2004	0	4.7	52.2	214.8	484.8	427	439.3	281.6	290.4	240.960174	143.354614	46.1491022	2194.8	2625.3
2005	11.6	116.7	154.4	384.6	232.7	201.7	192	195.6	156.7	113.9	140.671845	20.6	1780.5	1921.2
2006	49.5	0	95.0576242	75.9	295.9	275.2	295.5	191.9	153.7	135.9	99.4	0	1572.9	1668.0
2007	0	2.7	68.9	105.6	256.9	333.6	233.2	167	141.4	218.1	95	81.9	1704.3	1704.3
2008	0	9.3	45.7	66.2	243.2	434.2	361.1	165.1	141	140	118.6	6.9	1731.3	1731.3
2009	65.2	4.2	32.9	253.7	217.7	241.5	325.1	363.5	172.9	215.4	62.7	2	1956.8	1956.8
2010	0	37	139.7	327.9	531.1	263.5	232.7	191.1	264.3	172.2	112.2	30.9	2302.6	2302.6
2011	6.2	56.1	15	374	504.1	145.2	242.4	263	230.3	48.4	197.7	90.1	2172.5	2172.5
2012	0	78.7	63.7	273.6	233.8	416.3	309.7	132.6	199.7	432.5	184.6	6.2	2331.4	2331.4
2013	0	15.3	168.7	236.8	241.6	303	210.6	156.5	278.7	136.1	129.8	11.5	1888.6	1888.6
2014	6.3	75.7	33.1	328.3	288.6	302.4	494.4	185.1	254.7	201.7	126.4	0.9	2297.6	2297.6
2015	22.3	30.6	9.5	202.1	93.6	257.1	397.6	450.8	156.7	157.2	114.3	50.2	1942	1942.0
M. CORREGIDOS	11.2	41.2	69.7	224.0	295.3	299.2	302.1	225.6	221.0	194.9	122.5	42.9		2049.7
MEDIOS	11.1857143	43.145	68.475	223.990476	295.257143	299.214286	302.142857	225.642857	220.995238	195.794737	120.094444	42.75	2048.68775	
MAXIMO	92, 0	220, 7	168, 7	451, 7	531, 1	517, 0	494, 4	450, 8	419, 0	501, 3	212, 0	174, 8	531, 1	
MINIMO	0, 0	0, 0	0, 0	66, 2	93, 6	145, 2	82, 5	61, 2	45, 0	48, 4	0, 0	0, 0	0, 0	

MACUCUANA														
ESTACION:	3522004													
LATITUD	454	N												
LONGITUD	7131	W												
ELEVACION	117	m, s, n, m												
A#O	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	VR CORREGIDO
1995	23	0	41	198	220	316	328	228	260	217	174	67	2072	2072.0
1996	5	7	34	263	388	202	186	251	162	178	181	58	1915	1915.0
1997	0	91	2	231	474	149	232	237	205	153	128	0	1902	1902.0
1998	0	34	72	370	202	445	280	241	218	217	124	22	2225	2225.0
1999	20	123	55	256	94	309	160	129	115	258	106	60	1685	1685.0
2000	45	7	106	259	326	288	366	279	241	94	148	261	2420	2420.0
2001	40	36	38	205	452	202	241	55	187	77	38	100	1671	1671.0
2002	3	0	93	289	444	253	291	236	231	194	252	58	2344	2344.0
2003	0	0	123	226	321	268	254.710284	300.065377	279.406069	220.26216	335	33	1306	2360.4
2004	0	0	63.0457719	153	227	462	398	168	193	226	161	31	2019	2082.0
2005	62	236	87	370	170	345	75	118	143	166	309	5	2086	2086.0
2006	37	0	96	193	228	583	350	386	202	174	219	25	2493	2493.0
2007	0	4	215	358	270	482	198	234	178	325	106	58	2428	2428.0
2008	0	81	33	74	416	304	357	356	281	175.726841	184.016775	7.96180141	1902	2269.7
2009	26	0	74	176	281	385	399	489	187	196	82	7	2302	2302.0
2010	0	38	73	372	310	311	495	369	141	182	221	74	2586	2586.0
2011	33.585486	43	57	268	607	279	400	522	327	129	297	65	2994	3027.6
2012	0	45	103	394	236	313	341	120	212	229	135	28	2156	2156.0
2013	0	2	106	106	483	218	301	219	310	242	157	19	2163	2163.0
2014	0	0	11	486	476	212	338	253	228	320	113	72	2509	2509.0
2015	132	83	131	203	153	342	528	474	195	147	228	328	2944	2944.0
M. CORREGIDOS	20.3	39.5	76.8	259.5	322.8	317.5	310.4	269.7	214.1	196.2	176.1	65.7		2268.6
MEDIOS	20.6842105	39.5238095	77.5	259.52381	322.761905	317.52381	313.2	268.2	210.8	196	175.7	68.55	2269.96754	
MAXIMO	132,0	236,0	215,0	486,0	607,0	583,0	528,0	522,0	397,0	423,0	335,0	328,0	607,0	
MINIMO	0,0	0,0	2,0	54,0	94,0	149,0	75,0	55,0	89,0	77,0	38,0	0,0	0,0	

LA PRADERA														
ESTACION:	3518010													
LATITUD	456	N												
LONGITUD	7239	W												
ELEVACION	180	m, s, n, m												
A#O	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	VR CORREGIDO
1995	42	0	91	307	652	339	273	225.581592	273.948033	292.237581	102.481711	53	1757	2651.2
1996	0	70	206	216.649412	342	340	310	214.517795	306.656224	447	126	46	1887	2624.8
1997	0	125	40	279	203	214	477.1	285	269	114	115	0	2121.1	2121.1
1998	0	118	128	273	434.471467	367.047951	378.807111	344	311	303	146	14	1637	2817.3
1999	5	125	25	412	261	197	279	201	241	377	74	11	2208	2208.0
2000	52	10	114	161	489	272	219	314	380	110	46	48	2215	2215.0
2001	0	0	36	146	345	282	304	251	267	182	172	141.191273	1985	2126.2
2002	0	0	162	381	362	176	405	468	350	107	41	58	2510	2510.0
2003	0	0	168	418	322	238	168	223	502	350	243	89	2721	2721.0
2004	0	18	29.4	318	412.1	376	468.7	380.9	336.266049	214.150528	203.992656	60.0790396	2003.1	2817.6
2005	27.2	25	39.5	329.3	488.8	179.6	179.1	309.7	165.6	272.3	190.2	0	2206.3	2206.3
2006	70	0	128.9	251.7	363.8	423.9	350.7	294.2	166.7	296.3	267.8	1.4	2615.4	2615.4
2007	0	29	151.5	157.1	314.7	308.7	120.6	146.9	405.3	212	64.2	115	2025	2025.0
2008	0	4	2.1	143.4	653.9	505.9	262.8	372.8	479.4	425.1	187.8	0	3037.2	3037.2
2009	21.5	19.4	97.1	353.7	250	407.2	222.4	127.6	161	167.4	100.3	6.4	1934	1934.0
2010	0	70.3	109.4	504.2	392.4	426.6	271.7	423.2	106.7	129	321.3	65	2819.8	2819.8
2011	18.8	45.6	28.9	257.1	483	222.3	395.8	153.9	465.7	304	323.9	111.1	2810.1	2810.1
2012	0	12	253	360.5	303.3	421.5	316	219.8	228	332.5	234.8	107	2788.4	2788.4
2013	0	0	254	281	226.5	326.6	262.5	182.5	99	228.5	102.8	35	1998.4	1998.4
2014	0	38	20	276	291.4	199.5	305.5	259	240	227.5	86.3	113	2056.2	2056.2
2015	40	11.5	0	205.3	229.2	232.3	235.2	200.3	71.8	196.8	128	60.1701259	1550.4	1610.6
M. CORREGIDOS	13.2	34.3	99.2	287.2	372.4	307.4	295.5	266.5	277.4	251.8	156.0	54.0	2414.9	2414.9
MEDIOS	13.1666667	34.3238095	99.2285714	290.715	369.255	304.405	291.305	271.410526	272.733333	251.652632	156.336842	48.4944444	2403.02683	
MAXIMO	70,0	226,0	254,0	504,2	653,9	505,9	894,8	1105	974,1	673,3	765,8	141,0	1105,0	
MINIMO	0,0	0,0	0,0	74,5	91,7	176,0	108,0	127,6	71,8	107,0	39,0	0,0	0,0	



PAJARITO														
ESTACION:	3519050													
LATITUD	-	N												
LONGITUD	-	W												
ELEVACION	842	m, s, n, m												
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	VR ANUAL CORREGIDO
1995	112	6	125	411	441	628	507	386	534	259	68	85	3562	3562
1996	11	101	126	211.2	349.1	502.6	402.2	421.8	402.231825	378.631039	222	103.4	2450.3	3231.162864
1997	7.4	62.8	65.6	194.3	391.6	478	667.1	253.4	300.7	239.5	141.9	66.9	2869.2	2869.2
1998	16.4	134.4	250.6	564.7	826.9	690.8	743.8	444.3	386.7	195	157.7	71	4482.3	4482.3
1999	5.5	128	189.7	512.9	361.5	383.5	493	338.1	596.6	344.2	137.7	14.8	3505.5	3505.5
2000	30.7	12.6	126	160	542.4	328.3	487	591.5	351.5	304.5	182.2	38.2	3154.9	3154.9
2001	0	1.4	360.6	297.7	474.051858	482.43795	340.969762	487.905538	388.479426	266.924618	167.530262	183.472013	659.7	3451.471426
2002	3.8	0	200.9	178.1	178.4	385	338.7	617	278.3	123.6	500.3	283	3087.1	3087.1
2003	0	20	181.3	509.8	492.3	648.7	753	449.3	400.2	309.6	206.8	86.7	4057.7	4057.7
2004	56.8	140.6	77.9	480.4	577.6	499.7	483.7	532.4	464.6	353.8	298	64.1684915	3965.5	4029.668492
2005	29.6	130.1	59.4	474.6	460.2	409.5	453.8	556.4	501.5	853.6	120.8	15.9408054	4049.5	4065.440805
2006	70.8	17.7	130.8	121.9	215.6	731.9	374.3	477.4	389.6	245.6	234.3	26.8	3036.7	3036.7
2007	23.8	27	142.1	204	465	305.1	317.4	476.9	225.4	232.8	119.9	139.9	2679.3	2679.3
2008	64.9	10.8	38.2	199.8	481.1	501.1	214.7	420.5	321.5	364.1	179.2	42.9	2838.8	2838.8
2009	67.7	37.6	57.3	148.8	124.9	625	207.6	504.1	218	231.1	44.6	40.2	2306.9	2306.9
2010	3.6	33.6	220.9	295	733.3	294.7	368.7	270.6	161.9	435.7	270.3	81.1731242	3088.3	3169.473124
2011	0.6	19.8	70	349.4	367.3	469.6	369.8	331.2	559.9	313	170.1	30.5	3051.2	3051.2
2012	0.4	21.6	163.9	498.1	363.8	400.5	567.7	277.8	291.4	70.3	158	47.1	2860.6	2860.6
2013	1.2	7.9	68.8	116	318.9	265.5	540.8	370.5	253.7	267.6	155.7	18.4	2385	2385
2014	14.6	58.7	28.6	344.1	254.5	370.6	726.4	555.2	319.7	297	218.9	34.1	3222.4	3222.4
2015	19.5	32.5	44.2	386.3	399.5	680.3	613.2	511.4	337.7	300.9	183.7	45.3	3554.5	3554.5
M. CORREGIDO	25.7	47.8	129.9	317.1	420.0	480.0	474.8	441.6	365.9	304.1	187.5	72.3	3266.7	3266.7
MEDIOS	25.7	47.8	129.9	317.1	417.2	479.9	481.5	439.3	362.8	302.2	188.5	69.1	3088.9	
MAXIMOS	147	230	391.5	691	991	1872	1516	1995	1905	853.6	518	283	1995	
MINIMOS	0	0	10	92.7	115.7	189	207.6	253.4	161.9	70.3	44.6	2.5	0	



DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE  
INTENSIDAD DE LLUVIAS

FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL

0 800 1.600 3.200 4.800 6.400  
Meters

Escala 1:30.000

**LEYENDA**

Índice de llluvias

Lluvias bajas

Lluvias moderadas

Lluvias altas

**SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL**

Sistema de Coordenadas: MAGNA Colombia Este

Proyección: Transverse Mercator

Datum: MAGNA

False Easting: 1.000.000,00

False Northing: 1.000.000,00

Central Meridian: -71,08

Scale Factor: 1,00

Latitude Of Origin: 4,60

Unidades: Meter

Localización del Departamento  
en Colombia



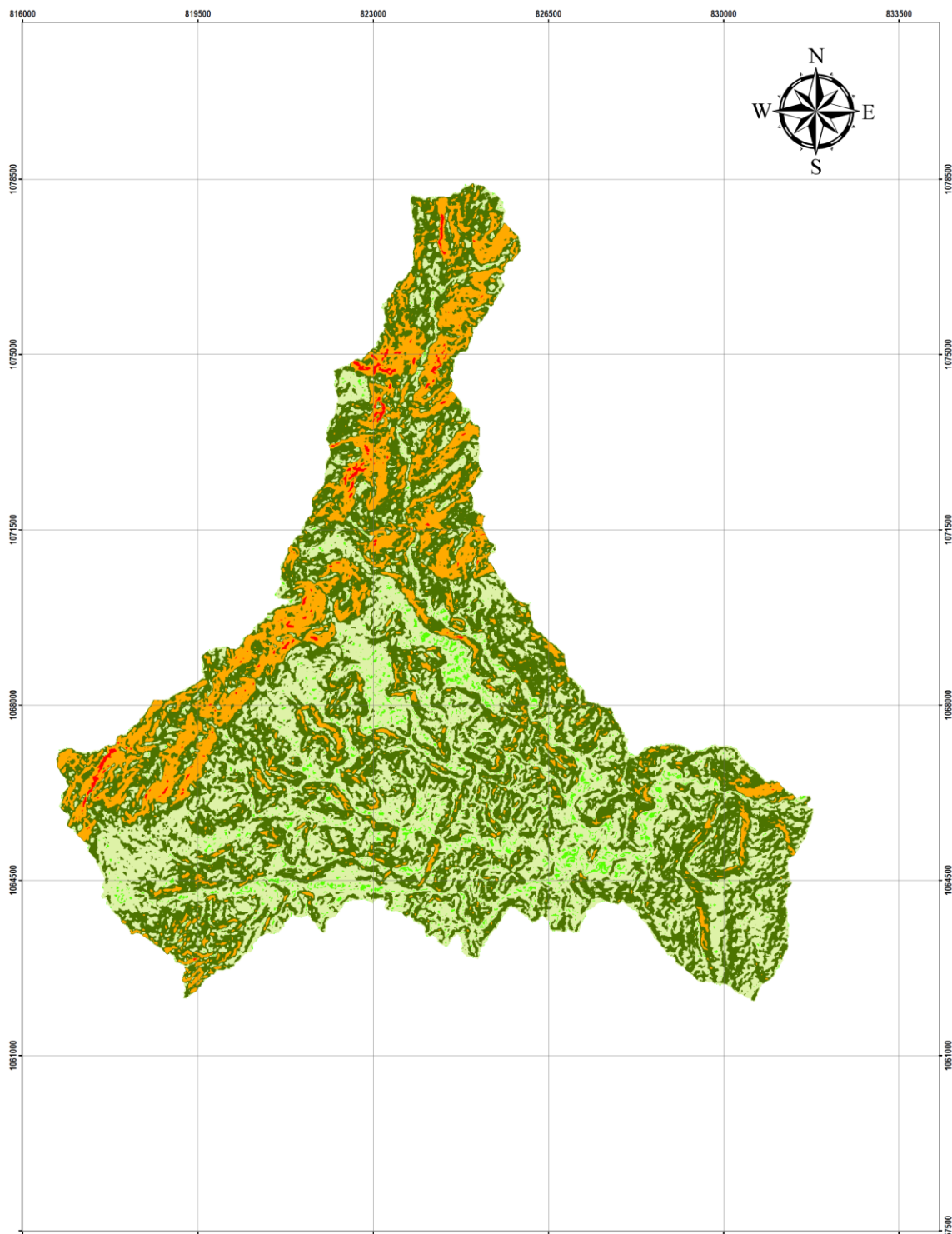
Localización del Municipio en el  
Departamento



Elaboró: Julián Sebastián León  
Omar Urrego

Fecha de elaboración:  
mayo de 2018

**Anexo 9.** Modelamientos en el software ArcGis de los indicadores de amenaza de avalancha: Índice de amenaza de avalanchas originadas por los materiales depositados superficialmente en las laderas (IAAL).



UNIVERSIDAD DE  
**LA SALLE**

DEPÓSITOS SUPERFICIAL DE MATERIAL  
SUELTO EN LAS LADERAS

FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL

0 800 1,600 3,200 4,800 6,400 Meters

Escala 1:30.000

## LEYENDA

Suceptibilidad del Polígono

- Muy Alta
- Alta
- Moderada
- Baja
- Muy Baja
- Drenaje Sencillo

## SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL

Sistema de Coordenadas: MAGNA Colombia Este  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: MAGNA  
False Easting: 1,000,000.00  
False Northing: 1,000,000.00  
Central Meridian: -71.08  
Scale Factor: 1.00  
Latitude Of Origin: 4.60  
Unidades: Meter

Localización del Departamento  
en Colombia



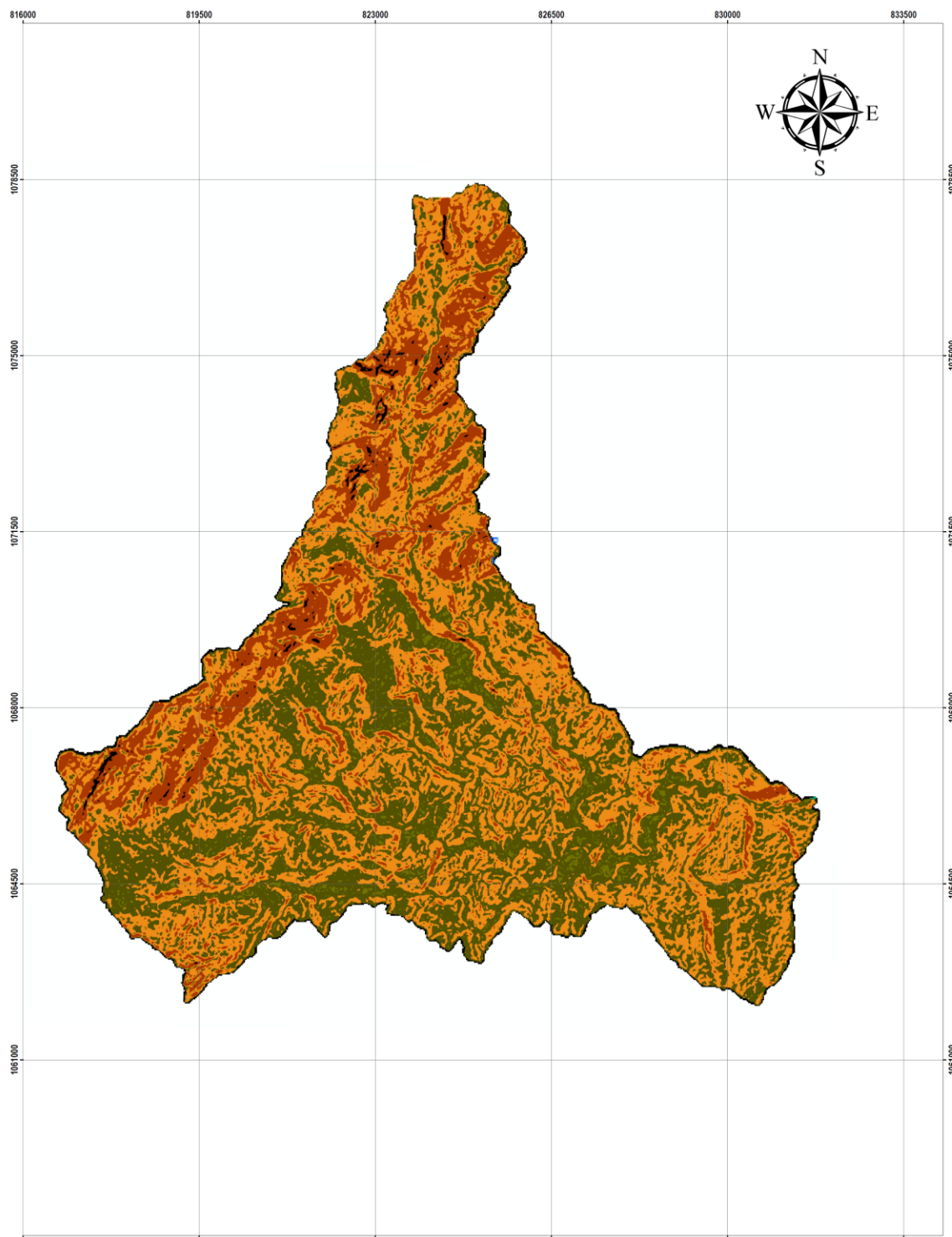
Localización del Municipio en el  
Departamento



Elaboró: Julián Sebastián León  
Omar Urrego

Fecha de elaboración:  
mayo de 2018

**Anexo 10.** Modelamientos en el software ArcGis de los indicadores de amenaza de avalancha: Índice de amenaza de avalanchas originadas por la falla de las laderas asociadas a fenómenos de remoción en masa (IAALC).



UNIVERSIDAD DE  
**LA SALLE**

FALLAS EN LAS LADERAS ASOCIADAS A  
FENOMENOS DE REMOCION DE MASAS

FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL

0 800 1,600 3,200 4,800 6,400 Meters

Escala 1:30.000

## LEYENDA

Suceptibilidad del Poligono

- Muy Alta
- Alta
- Moderada
- Baja
- Muy Baja

### SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL

Sistema de Coordenadas: MAGNA Colombia Este  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: MAGNA  
False Easting: 1,000,000.00  
False Northing: 1,000,000.00  
Central Meridian: -71.08  
Scale Factor: 1.00  
Latitude Of Origin: 4.60  
Unidades: Meter

Localización del Departamento  
en Colombia



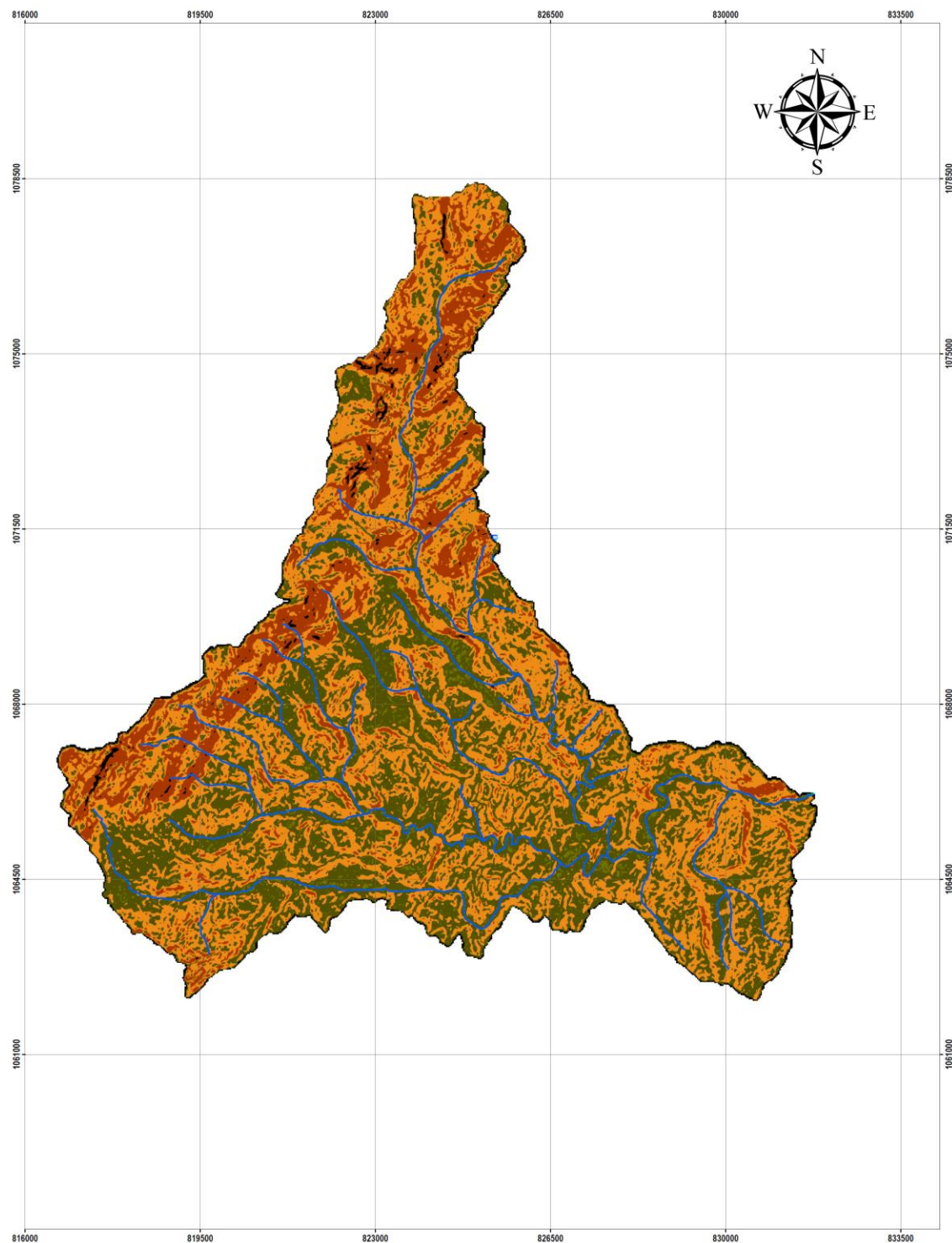
Localización del Municipio en el  
Departamento



Elaboró: Julián Sebastián León  
Omar Urrego

Fecha de elaboración:  
mayo de 2018





## FALLAS EN LAS LADERAS ASOCIADAS A FENOMENOS DE REMOCION DE MASAS

FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL

0 800 1,600 3,200 4,800 6,400 Meters  
Escala 1:30.000

## LEYENDA

Suceptibilidad del Poligono

- Muy Alta
- Alta
- Moderada
- Baja
- Muy Baja
- Drenaje Sencillo

### SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL

Sistema de Coordenadas: MAGNA Colombia Este  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: MAGNA  
False Easting: 1,000,000.00  
False Northing: 1,000,000.00  
Central Meridian: -71.08  
Scale Factor: 1.00  
Latitude Of Origin: 4.60  
Unidades: Meter

Localización del Departamento  
en Colombia



Localización del Municipio en el  
Departamento

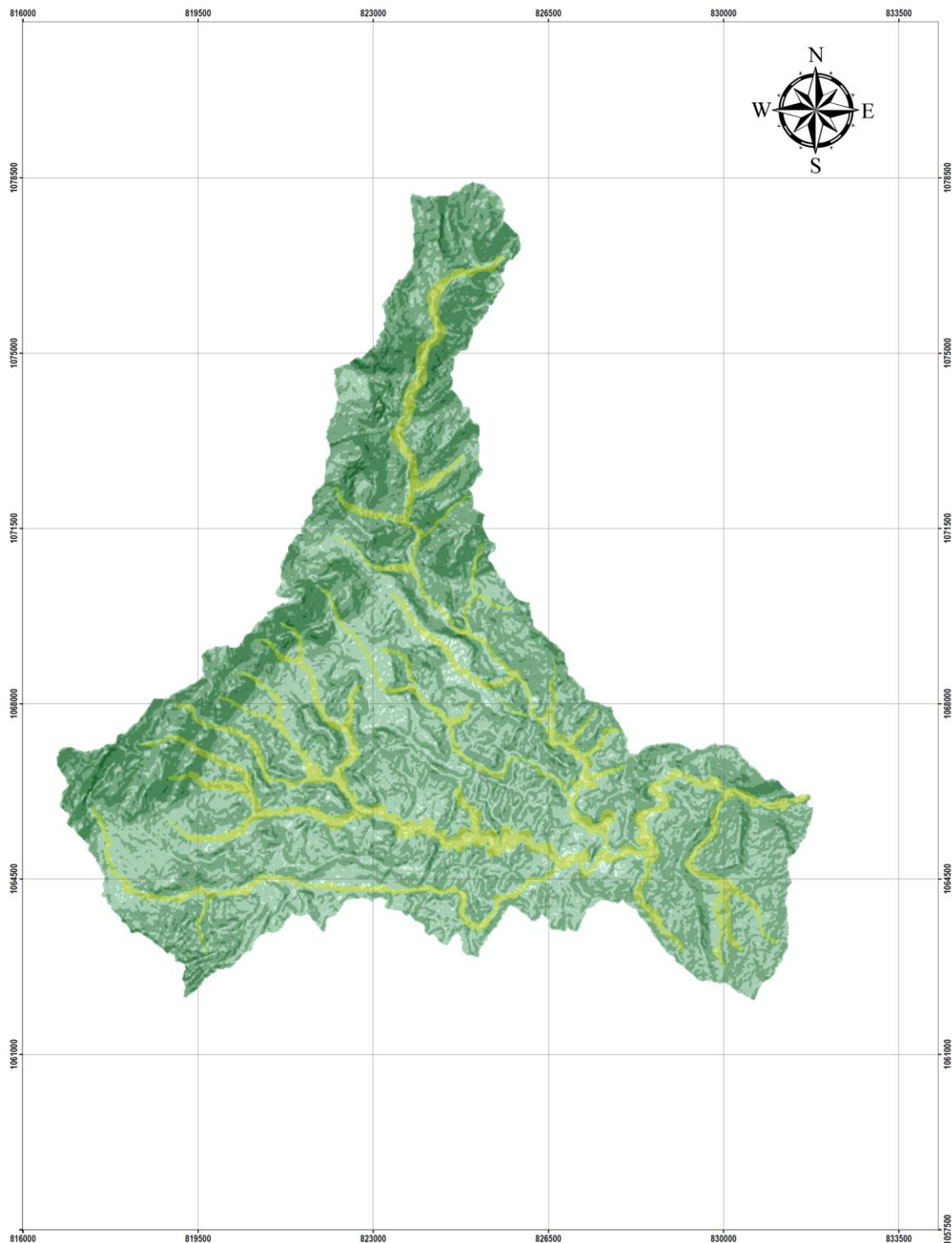


Elaboró: Julián Sebastián León  
Omar Urrego

Fecha de elaboración:  
mayo de 2018

**Anexo 11.** Modelamientos en el software ArcGis de los indicadores de amenaza de avalancha: Índice de amenaza de avalanchas originadas por los materiales depositados en el cauce (IAAC).





UNIVERSIDAD DE  
**LA SALLE**

DEPÓSITOS DE MATERIAL SUELTOS EN  
EL PROPIO CAUCE

FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL

0 800 1,600 3,200 4,800 6,400 Meters  
Escala 1:30.000

## LEYENDA

Depósitos de material

- Depósitos de material suelto en el propio cauce
- Pendientes superiores a 60°
- Pendientes menores a 60°

### SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL

Sistema de Coordenadas: MAGNA Colombia Este  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: MAGNA  
False Easting: 1,000,000.00  
False Northing: 1,000,000.00  
Central Meridian: -71.08  
Scale Factor: 1.00  
Latitude Of Origin: 4.60  
Unidades: Meter

Localización del Departamento  
en Colombia

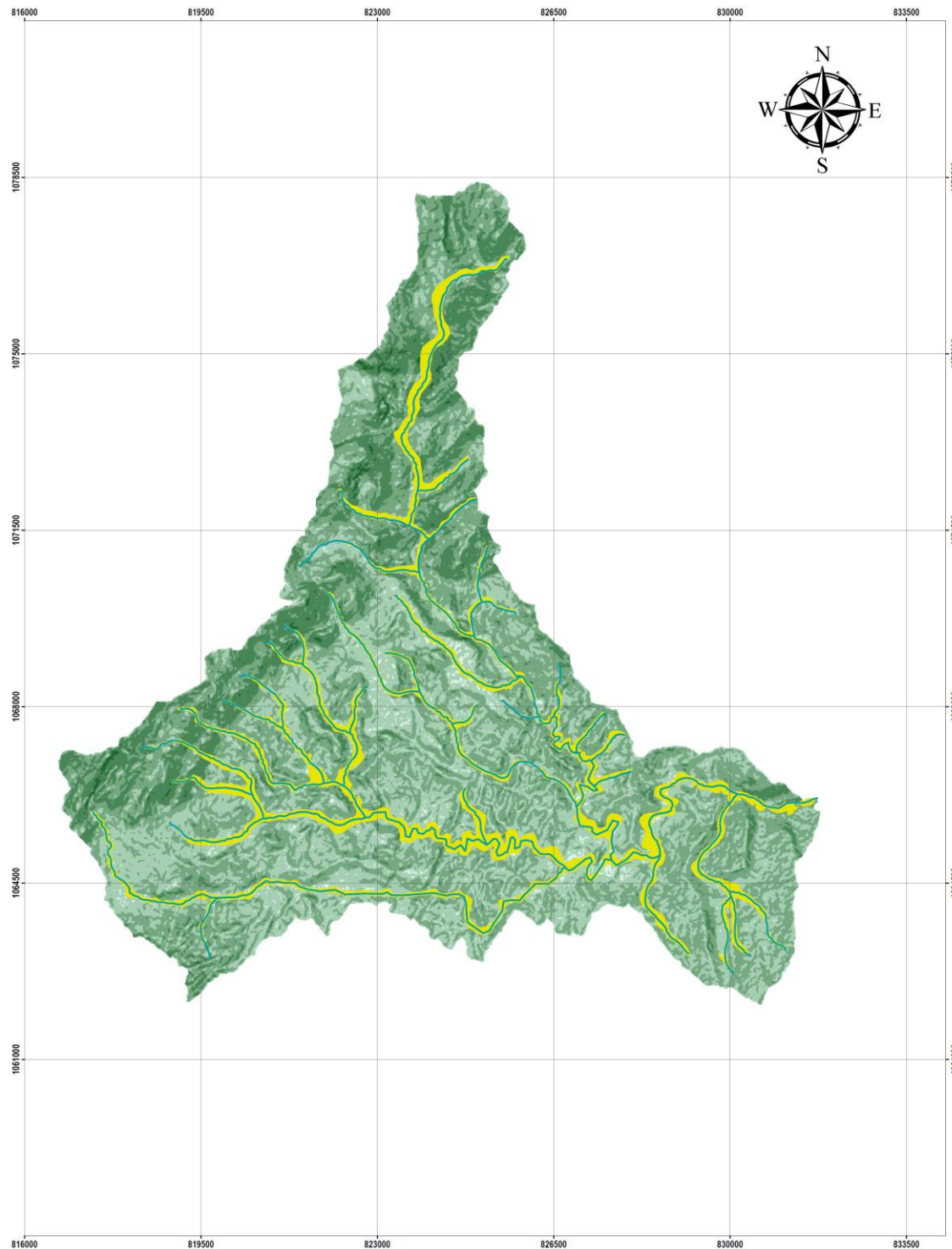


Localización del Municipio en el  
Departamento



Elaboró: Julián Sebastián León  
Omar Urrego

Fecha de elaboración:  
mayo de 2018



UNIVERSIDAD DE  
**LA SALLE**





DEPÓSITOS DE MATERIAL SUELTOS EN  
EL PROPIO CAUCE

FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL

0 800 1,600 3,200 4,800 6,400 Meters  
Escala 1:30.000

### LEYENDA

Depósitos de material

-  Depósitos de material suelto en el propio cauce
-  Pendientes superiores a 60°
-  Pendientes menores a 60°
-  Drenaje Sencillo

### SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL

Sistema de Coordenadas: MAGNA Colombia Este  
Proyección: Transverse Mercator  
Datum: MAGNA  
False Easting: 1,000,000.00  
False Northing: 1,000,000.00  
Central Meridian: -71.08  
Scale Factor: 1.00  
Latitude Of Origin: 4.60  
Unidades: Meter

Localización del Departamento  
en Colombia



Localización del Municipio en el  
Departamento



Elaboró: Julián Sebastián León  
Omar Urrego

Fecha de elaboración:  
mayo de 2018

